Observations générales sur ces exemples.

Nous engageons le lecteur à méditer attentivement ces divers exemples que nous ne faisons pour ainsi dire qu'indiquer et d'en faire autant de tous ceux que la pratique des arts pourrait offrir à ses méditations; ils serviront à lui bien faire concevoir comment l'inertie de la matière se comporte tantôt comme une simple résistance, tantôt comme une véritable force motrice, absolument de la même manière que la pesanteur des corps et les ressorts parfaitement élastiques.

Nous les engageons, par les mêmes motifs, à lire après ce qui précède, les dernières pages de la 2e Leçon du Cours de Mr Dupin, relativement à la manière dont le mouvement est communiqué aux machines par les moteurs. Du reste, nos derniers exemples concernent principalement l'inertie des pièces qui ont un mouvement de rotation; et tout ce que nous avons dit jusqu'à présent de la force vive n'est simplement que relatif au mouvement de transport des corps dont les diverses parties sont animées de la même vitesse; mais, nous verrons bientôt que les principes sur la force vive et le travail mécanique, ont lieu en général, et nous apprendrons à calculer rigoureusement la valeur de cette quantité et de cette force vive quelque soit le mouvement d'un corps ou d'une machine: pour le moment, il nous suffira de donner quelques applications en nombres relatives au mouvement de transport rectiligne, afin de faire apprécier à sa juste valeur, l'influence de l'inertie dans les travaux industriels.

corps au repos; dans ce ralentissement, la force vive acquise est employée à détruire une portion de l'effet de la pesanteur sur les corps et l'inertie n'a rien absorbé. Les mêmes choses peuvent se dire encore du travail du limeur, du scieur &c., puisqu'à la fin de chaque oscillation de l'outil, la vitesse devient nulle en variant par degrés insensibles; il est évident que cela n'aurait plus lieu si le mouvement changeait brusquement, ou qu'il y eut des chocs ou des secousses entre corps non parfaitement élastiques, une portion de la force vive serait employée alors (voyez ci-dessus page 50) à détruire les ressorts moléculaires des corps qui se choquent.

Autres exemples du rôle que joue l'inertie des corps dans divers procédés des arts.

Afin de donner une idée plus complète encore du rôle que joue l'inertie des corps dans les travaux industriels, et de montrer comment elle peut servir à expliquer une infinité de procédés des arts, nous allons ajouter quelques exemples particuliers à tous ceux qui ont été rapportés jusqu'à cette heure.

Pour faire sortir le ciseau en fer d'une varlope, l'ouvrier frappe le bout sur le derrière, en lui imprimant brusquement de la vitesse, le ciseau et son coin résistent par leur inertie ou ne cèdent qu'en partie au mouvement.

On emmanche souvent un outil, par exemple un marteau, en frappant la queue du manche dans le sens de sa longueur; ce manche chemine, et l'inertie de la matière du marteau résiste au mouvement imprimé. C'est par l'effet de l'inertie qu'on parvient à lancer, avec une grande vitesse, des pierres à l'aide de la fronde; car on accumule la force vive dans cette pierre, en lui faisant faire plusieurs révolutions successives, et de plus en plus rapides. La toupie, lancée à terre, tourne et chemine en vertu de la force vive qui a été primitivement accumulée par le déroulement accéléré de la ficelle. Le diable est un autre exemple du moyen qu'on peut employer pour accumuler la force vive dans un corps mobile autour d'un axe. Le mouvement par volées des cloches résulte également de l'accumulation du travail de la puissance dans les premières oscillations, et de sa transformation en force vive. Le jouet que les enfants nomment Jalouse, reçoit d'abord sa vitesse par le déroulement du fil enveloppé sur son axe; en vertu de l'inertie du volant placé sur cet axe, le mouvement continue et sert à enrouler le fil, en sens contraire, en le tirant, comme le ferait la main, avec un certain effort: ce moyen peut même être employé dans les grandes machines pour transformer le travail des moteurs en force vive, puis la force vive en travail ordinaire. On se sert avec avantage dans les arts, du tour à pédale et à ressort pour les petites pièces légères, parce que l'inertie exerce alors peu d'influence malgré les variations, les alternations de la vitesse: mais son emploi aurait des inconvénients pour les grosses pièces ou les pièces de métal, c'est pourquoi on y substitue le tour à mouvement de rotation continu.

mesure la quantité de travail qui a été réellement consommée ou restituée par l'inertie du corps. Par conséquent, si le corps était parti du repos, la quantité de travail consommé par l'inertie, à un instant quelconque, serait mesurée seulement par la moitié de la force vive acquise à cet instant.

Démonstration des mêmes choses par la figure.

On remarquera que tous les raisonnemens qui précèdent peuvent être répétés au moyen de la dernière des figures ci-dessus, en observant que, lorsque la vitesse du corps diminue après avoir augmentée pendant un certain tems il en est de même de l'abscisse et de l'ordonnée de la droite $O v_6$ qui représentent cette vitesse; de sorte que cette ordonnée, après s'être éloignée de l'origine jusqu'à un certain point, en *balayant* des aires triangulaires proportionnelles à la quantité de travail dépensée par l'inertie ou à la moitié de la force vive acquise par le corps, se rapproche de cette même origine, en soustrayant de la plus grande aire ou du plus grand triangle, des surfaces trapézoïdes qui diminuent de plus en plus l'aire de ce triangle répondant à la plus grande force vive. Une voiture qui chemine avec une vitesse tantôt plus grande, tantôt plus petite, offre l'exemple de ce que nous venons de dire: d'abord les chevaux dépensent une certaine quantité de travail pour la mettre en mouvement au pas ou au trot; puis lorsque la vitesse de la voiture vient à ralentir par suite de l'augmentation des résistances, ou de la diminution d'action des chevaux, cette même inertie développe contre ces résistances une portion du travail qu'elle avait d'abord absorbé, et qui est égale à la moitié de la diminution de la force vive; et les choses continuent ainsi altérativement; de sorte que, lorsque la voiture est remise au repos, la quantité de travail restituée par l'inertie est précisément égale à la quantité de travail qu'elle a consommée, et qui en réalité il n'y a rien eu de perdu. Il est entendu d'ailleurs que les diminutions de vitesses éprouvées par la voiture ne proviennent pas de ce que les chevaux retiennent, ou de ce qu'on aurait enrayé, puisqu'alors ces chevaux et *l'enrayage* auraient servi à augmenter les véritables résistances, et à consommer la force vive acquise, sans utilité immédiate pour l'objet du transport.

Ces réflexions s'appliquent aussi bien à la pesanteur qu'à l'inertie: avantages des routes à pentes douces.

Les mêmes réflexions sont applicables à l'action de la pesanteur sur une voiture qui monte ou descend une côte, la quantité de travail, employée dans la montée pour vaincre la pesanteur, sera restituée dans la descente, pourvu que celle-ci ne soit pas trop raide, et ne force pas à enrayer ou à retenir, et à perdre inutilement cette quantité de travail: on voit par là aussi l'un des avantages des routes à pentes douces sur les autres, et c'est pour cela que, de nos jours, on a fixé la limite des pentes du 20me au 30me.

Nouveaux exemples où l'inertie ne diminue en rien la quantité de travail du moteur.

Lorsqu'un moteur est employé à élever verticalement des fardeaux il prend le corps au repos, de là une consommation de travail pour vaincre l'inertie du corps; arrivé à la hauteur voulue, le moteur ralentit son mouvement pour remettre de nouveau le

moindre que la vitesse primitive; mais, comme la portion de vitesse ou de force vive détruite dans le choc a été employée réellement à vaincre certaines résistances moléculaires, et par conséquent à produire un certain travail, nous avons pu dire ci-dessus que la force d'inertie restitue *intégralement* la quantité de travail qui a été dépensée pour le mettre en jeu: seulement il arrive qu'une portion de ce travail est, dans certains cas étranger à l'ouvrage qu'il s'agit de faire, ou n'est point considéré comme faisant partie de l'effet utile, ainsi qu'il a déjà été expliqué page 30, à l'égard des forces de pression ordinaires.

Examen de ce qui se passe dans les mouvements alternatifs ou périodiques.

Nous venons de montrer par des exemples comment la quantité de travail ou d'action peut être transformée alternativement en force vive, et la force vive en quantité d'action par le moyen des ressorts et des machines qui les emmagasinent et les restituent successivement. Ces transformations se présentent, en général toutes les fois que le mouvement d'un corps sollicité par une puissance motrice varie par degrés insensibles de manière à être tantôt accéléré et tantôt retardé. C'est ce qui a lieu, par exemple dans les mouvements périodiques dont nous avons déjà parlé (Leçon 3e pages 11 et 13), et en général dans tous ceux de va et vient, qu'on nomme *alternatifs*, et où la vitesse devient même nulle de tems en tems. Les mouvements oscillatoires des pendules ou des fils à plomb sont évidemment de ce dernier genre. Or, lorsque la vitesse du corps augmente, c'est un signe qu'une certaine portion du travail du moteur agit dans le sens du mouvement pour accroître la force vive du corps d'une quantité égale au double de cette portion, le surplus du travail ayant été absorbé par les autres résistances; si au contraire, la vitesse du corps vient à diminuer, malgré l'action de la puissance toujours exercée dans le sens du mouvement, c'est qu'une certaine portion de la force vive acquise a été dépensée, contre les mêmes résistances, pour augmenter le travail du moteur d'une quantité égale à la moitié de cette portion, et ainsi de suite selon le nombre des alternatives du mouvement.

La quantité de travail consommée ou restituée par l'inertie est toujours la moitié de la force vive acquise ou détruite.

On voit d'après cela que, lors que la vitesse ou la force vive d'un corps oscille entre certaines limites c'est une preuve que l'inertie a successivement absorbé et restitué des portions de travail du moteur qui sont égales pour tous les instants où la vitesse est redevenue la même, c'est à dire que, dans l'intervalle de ces instants, il n'y a eu rien de perdu ni de gagné, et que la puissance doit être considérée comme ayant été entièrement employée à vaincre les résistances autres que l'inertie. Mais, si dans un intervalle de tems quelconque, la vitesse, après avoir subi également des alternatives de grandeur, ne redevient pas ce qu'elle était d'abord, la moitié de la différence des forces vives qui répondent à la fin et au commencement de cet intervalle,

successives s'opèrent par le moyen des machines, des outils &ca. L'eau renfermée dans les réservoirs des moulins représente une certaine quantité d'action ou de travail disponible, qui se change en force vive quand on ouvre la vanne ou l'écluse, à son tour la force vive acquise par cette eau, en vertu de sa chute du réservoir, se change en une certaine quantité de travail quand elle agit contre la roue du moulin, et celle-ci transmet ce travail aux meules &ca qui confectionnent l'ouvrage. L'air refoulé dans le réservoir d'un fusil à vent, représente la valeur mécanique du travail dépensé par un certain moteur pour l'y emprisonner; en lâchant la détente, l'air chasse la balle et convertit une certaine quantité d'action en force vive : si la balle est lancée contre un ressort ou un corps élastique, ce dernier va se bander, se comprime en opposant une résistance de plus en plus forte, égale et contraire à la force d'inertie de la balle et qui finit par éteindre le mouvement quand la quantité de travail développée par le ressort atteint une valeur moitié de la force vive possédée par la balle, le travail étant maintenu à cet instant par un moyen quelconque la force vive s'y trouvera emmagasinée en quantité de travail disponible de façon que, si l'on vient à supprimer l'obstacle qui maintient le ressort dans sa dernière position, la balle va être lancée en sens contraire, avec une vitesse telle que la force vive acquise sera le double de la quantité d'action ou de travail (Leçon 6e. page restituée par le ressort dans son débandement.

Les corps parfaitement élastiques restituent complètement la force vive quand ils sont choqués.

Si donc ce ressort est parfaitement élastique, la vitesse transmise à la balle sera précisément égale à celle que le fusil à vent lui avait d'abord imprimée dans une direction contraire. Ainsi dans l'exemple dont il s'agit, la *quantité de travail* a été alternativement changée en *force vive* et la force vive en *quantité de travail*, sans qu'il y ait eu rien de perdu ni de gagné. Mais, si le ressort n'est pas parfaitement élastique, une portion de la force vive imprimée à la balle sera employée à détruire les forces moléculaires de ce ressort.

Dans le choc des corps non élastiques, il y a toujours une perte de force vive appréciable.

Ainsi dans le choc des corps non parfaitement élastiques, il y a toujours une perte de quantité de travail mesurée par la moitié de la force vive détruite : presque tous les corps étant dans ce cas, et la quantité de travail consommée inutilement par les forces moléculaires étant comparable à celle que développe l'inertie pendant que les corps se compriment, on voit que, si cette dernière, ou la vitesse en vertu de laquelle le choc s'opère, est considérable, il y aura eu, dans un très petit instant, une grande perte de quantité d'action, et voilà pourquoi, comme nous l'avons déjà dit, il faut éviter les chocs dans le mouvement des machines industrielles. Au surplus nous reviendrons sur ce sujet dans la suite.

Les ressorts et l'inertie ne peuvent pas servir à augmenter la force vive des corps et le travail des moteurs.

On voit encore par tout ce qui précède qu'il est aussi impossible de se servir de la force de ressort que de celle de la gravité pour imprimer à un corps une vitesse plus grande (Leçon 7e pages 41 et 42) que celle qu'il possédait primitivement, ou pour augmenter le travail quelconque d'une puissance, et qui au contraire cette vitesse restituée sera toujours

mesure la moitié de la force vive communiquée.

ou $\frac{1}{2}\, w_4 v_4 \times w_4 v_4 = \frac{1}{2} V'^2$. Donc la quantité de travail correspondante à la vitesse acquise V' est consommée par l'inertie du corps sera mesurée par $\frac{1}{2} M \times V'^2$ ou par la moitié de la force vive communiquée depuis l'instant du départ (pages 42 et 44). Ce principe a donc lieu aussi pour un mouvement quelconque ou pour une force motrice différente de la pesanteur.

Pour une autre vitesse $v_6 w_6$ que nous nommerons V'', la consommation de travail sera également mesurée par $\frac{1}{2} M \times V''^2$ et par conséquent pour l'intervalle compris entre les positions du corps qui répondent aux vitesses V' et V'', la quantité de travail consommée sera mesurée par la différence $\frac{1}{2} M \times V''^2 - \frac{1}{2} M \times V'^2$ correspondante au trapèze $v_4 w_4 w_6 v_6$. Or, $M \times V'^2$ et $M \times V''^2$ sont les forces vives possédées par le corps au commencement et à la fin de l'intervalle de tems pour lequel on considère le travail de la force motrice, c'est donc encore l'accroissement de la force vive ou la force vive communiquée dans cet intervalle, de sorte que le principe ci-dessus peut s'appliquer à deux instants quelconques du mouvement d'un corps. Ainsi la quantité de travail dépensée a dans tous les cas pour mesure la moitié de la force vive communiquée entre ces instants.

La quantité de travail consommée par une force opposée au mouvement d'un corps est moitié de la force vive détruite.

Enfin on doit remarquer que ce qui précède suppose que la vitesse du corps augmente sans cesse; s'il en était autrement, ce serait un signe que la force motrice F serait opposée au mouvement du corps ou serait retardatrice, de sorte qu'elle agirait alors comme une véritable résistance. Du reste, tous nos raisonnements demeureraient encore applicables, et l'on trouverait que la quantité de travail ou d'action développée par la résistance F (égale et directement contraire à la force d'inertie devenue puissance), pendant un certain intervalle de tems ou pour détruire la vitesse V'' à V' par exemple, serait égale à $\frac{1}{2}(M \times V''^2 - M \times V'^2)$ ou à la moitié de la force vive perdue ou détruite.

Ainsi la diminution de la force vive d'un corps entre deux instants, suppose qu'une quantité de travail ou d'action égale à la moitié de cette diminution, a été développée par l'inertie de ce corps contre des obstacles, des résistances, comme son augmentation suppose de la part d'une puissance une consommation de travail égale à la moitié de cette augmentation.

L'inertie de la matière sert à changer le travail en force vive et la force vive en travail

On voit donc clairement maintenant comment, en général, l'inertie de la matière sert à transformer le travail en force vive et la force vive en travail; ou, pour nous exprimer comme nous l'avons fait page 40, à l'occasion du mouvement vertical des corps pesans, on voit que l'inertie sert à emmagasiner le travail des moteurs en le convertissant en force vive, et à le restituer intégralement ensuite, lorsque cette force vive vient à être détruite contre des résistances.

Les arts industriels nous offrent une infinité de circonstances où ces transformations

Recherche du travail des forces motrices ou de la force d'inertie des corps.

À l'aide des notions qui précèdent, nous pouvons calculer la quantité de travail que doit dépenser, contre un corps de poids P, une force de pression F, égale et contraire à la force d'inertie, pour imprimer à ce corps une certaine vitesse V ou, plus généralement, pour augmenter ou diminuer sa vitesse d'une quantité donnée.

En effet, cette quantité de travail est mesurée, pour chaque instant très petit t, par le produit de F et du chemin élémentaire décrit par le corps dans cet instant (nous supposons ici que ce chemin est le même pour les diverses molécules du corps, ou qu'on ne considère qu'une de ces molécules en particulier). Ce petit chemin est donné sur la figure ci-dessus, par l'aire du petit rectangle $v_3 t_3 t_4 b_3$ formé sur la vitesse correspondante $v_3 t_3$ ou V et sur l'élément du temps $t_3 t_4$ ou t. (6e Leçon, pages 34 et 35), c'est-à-dire par le produit $V \times t$. Donc la quantité de travail élémentaire est $F \times V \times t$ pour chaque instant, ou pour chaque petit accroissement $b_3 v_4$ de la vitesse, accroissement que nous avons déjà nommé v. Or nous avons trouvé ci-dessus que la valeur correspondante de F était $M \times \frac{v}{t}$, ainsi la quantité de travail en question est $M \times V \times v$.

C'est la somme de toutes ces quantités de travail partielles qui composent le travail total, et cette somme est facile à trouver par la considération d'une figure. À partir du point O, pris pour origine, portons sur la droite OB les divers accroissements successifs Ow_1, $w_1 w_2$, $w_2 w_3$, $w_3 w_4$ ... de la vitesse, répondant aux divers instants écoulés depuis celui du départ du corps, accroissements qui ne seront point égaux dans le cas du mouvement varié. Il est clair que les longueurs Ow_1, Ow_2, Ow_3, Ow_4 ... sont les vitesses totales acquises aux instants correspondants; portons ces mêmes longueurs sur les ordonnées correspondantes $w_1 v_1$, $w_2 v_2$, $w_3 v_3$, $w_4 v_4$ ..., de telle sorte qu'on aura $v_1 w_1 = Ow_1$, $v_2 w_2 = Ow_2$, $v_3 w_3 = Ow_3$ ... La suite des points O, v_1, v_2, v_3 ... va former une ligne droite inclinée à 45° sur l'axe des abscisses OB. Cela posé, considérons en particulier la vitesse $v_3 w_3$ ou V dont l'accroissement $w_3 w_4$ ou $v_3 b_4$ égal à $v_3 b_4$ a été nommé v, le produit $V \times v$ sera ici représenté (4e Leçon, page 32) par le petit rectangle $v_3 w_3 w_4 b_3$ ou par le trapèze $v_3 w_3 w_4 v_4$, qui lui devient sensiblement égal, quand les accroissements de vitesse ou de temps sont extrêmement petits. Donc la somme cherchée de tous les produits semblables à $V \times v$, a pour mesure celle de tous les petits trapèzes correspondants, ou l'aire comprise entre la droite Ov_6, l'axe des abscisses, et les ordonnées qui représentent les vitesses acquises au commencement et à la fin de l'intervalle de temps pour lequel on veut obtenir le travail de la force motrice.

La quantité de travail de la force motrice ou de la force d'inertie d'un corps, a pour

Par exemple, si le corps part du repos, et qu'il s'agisse de trouver la somme des produits $V \times v$ relative à une vitesse acquise $w_4 v_4$ que nous nommerons V', cette somme étant représentée par l'aire du triangle $Ow_4 v_4$ aura pour mesure $\frac{1}{2} Ow_4 \times w_4 v_4$

du repos au commencement de cette seconde. Désignant par V_1 cette vitesse finie, on aura $V_1 : v :: 1'' : t$; d'où $V_1 = \frac{v}{t}$, et en général, la force motrice, égale et contraire à la force d'inertie, à la force dynamique, est mesurée à chaque instant, par la quantité de mouvement qu'elle imprimerait au bout d'une seconde, si, au lieu de varier, elle demeurait ce qu'elle est à cet instant.

Moyens d'obtenir les mêmes choses à l'aide de la loi ou de la courbe qui lie les tems aux vitesses.

Ces considérations sur la force motrice dans le mouvement varié, sont analogues à celles qui concernent (3.e Leçon, pages 12 et 13) la vitesse même du mouvement, et on peut les reproduire également à l'aide d'une figure. Soit tracée comme cela a été dit, page 34, pour le mouvement uniformément accéléré, la ligne $v_0 v_1 v_2 \ldots v_6$ qui représente la loi des tems et des vitesses, soient $t_3 v_3$, $t_4 v_4$ les vitesses qui répondent au commencement et à la fin du tems très petit $t_3 t_4$ ou t. Menons par v_3 la parallèle $v_3 b_3 m$ à l'axe des tems Ot_6; elle retranchera de l'ordonnée $v_4 t_4$ la petite longueur $v_4 b_4$ représentant le degré de vitesse imprimé par la force motrice dans la durée du petit tems $t_3 t_4$, degré que nous avons représenté par v. Or, si l'on suppose qu'à partir du commencement de ce tems t la force motrice devienne constante, ou qu'elle imprime, dans les instants consécutifs et égaux à t des degrés de vitesses acquises, sera représentée (page 34) par une droite $v_3 n$ prolongement de $v_3 v_4$ et qui sera tangente à la courbe $v_0 v_1 v_2 \ldots v_6$, puisque l'intervalle $t_3 t_4$ ou t est censé excessivement petit. Prenant donc $v_3 m = 1''$ et élevant l'ordonnée $m\,n$, celle-ci ne sera autre chose que la vitesse V_1 acquise au bout de l'unité de tems, en vertu de la force motrice supposée constante, et l'on aura, à cause des triangles semblables $v_3 v_4 b_4$ et $v_3 m\,n$, la proportion $v_3 b_4$ ou $t : b_4 v_4$ ou $v :: v_3 m$ ou $1'' : m\,n$ ou V_1. D'où l'on tire comme ci-dessus, $V = \frac{v}{t}$.

Ainsi, quand on connaîtra la loi qui lie les tems aux vitesses imprimées, ou la courbe qui représente cette loi, on pourra pour chaque instant et par le tracé d'une tangente à cette courbe, déterminer la vitesse V_1 et, par suite, calculer, comme il a été expliqué ci-dessus, la valeur $M \times V_1 = \frac{P}{g} \times V_1$ trouvée précédemment de la force motrice en vertu de laquelle le mouvement du corps a lieu, ou ce qui est la même chose, la résistance égale et contraire que l'inertie oppose, à chaque instant, à l'action de la force.

La connaissance de la loi qui suit la force motrice peut servir à trouver celle qui lie les tems aux vitesses.

Réciproquement, si l'on connaît pour chaque instant la force motrice F, on en déduira les valeurs correspondantes de $V_1 = \frac{F}{M}$ ou les inclinaisons des tangentes $v_3 n$ de la courbe des vitesses; car la mesure de ces inclinaisons est donnée par le rapport $\frac{m\,n}{v_3 m} = V_1$. Si l'on se donne d'ailleurs la vitesse initiale Ov_0 du corps, vitesse nulle quand ce corps part du repos, rien ne sera plus facile que de trouver la courbe des vitesses successivement acquises sous l'action de la force motrice, puisqu'au moyen des inclinaisons des tangentes correspondantes à chaque abscisse ou à chaque tems, on pourra, de proche en proche, construire les positions successives $v_0 v_1$, $v_2 v_3$, $v_3 v_4 \ldots$ des élémens de cette courbe.

L'observation de ce qui se passe à la surface du globe terrestre et dans les mouvemens de notre système planétaire, prouve que les forces motrices ou de pression sont réellement proportionnelles aux degrés de vitesse très petits, qu'elles impriment à un même corps dans des tems égaux infiniment petits. Ce fait sert de base à toute la mécanique du mouvement, et doit être considéré comme une loi générale des forces motrices que présente la nature.

Mesure de la force motrice ou de la force d'inertie au moyen de la vitesse imprimée dans un tems infiniment court.

D'après cela, soit F la mesure en kilogrammes d'une certaine force de pression; soit v le degré très petit de vitesse qu'elle imprime à un corps, à une époque quelconque et pendant le tems très petit t, soit pareillement P la pression que la pesanteur exerce, en un certain lieu, sur le corps, ou le poids de ce corps, et v' le petit degré de vitesse qu'elle lui imprime dans le même tems t. On aura d'après ce qui précède, $F : P :: v : v'$; d'où $F = \frac{P}{v'} \times v$. Mais, d'après la première loi de la chûte des corps (7e Leçon, page 30), nous avons $v' : g :: t : 1''$; d'où $v' = gt$, et, par suite, $F = \frac{P}{g} \times \frac{v}{t} = M \times \frac{v}{t}$, M étant la masse du corps. Ainsi, quand on connaîtra la vitesse v imprimée dans le petit tems t par la force F, on pourra calculer cette force qui est égale et contraire à la résistance qu'oppose l'inertie de la matière de ce corps, au mouvement. Cette résistance a été appelée par les uns force d'inertie et par les autres force dynamique; la relation $F = M \times \frac{v}{t}$ nous apprend donc que la force d'inertie F croît proportionnellement à la masse du corps, $M = \frac{P}{g}$, et aux degrés de vitesse v qu'il reçoit dans des tems élémentaires t égaux et très petits (*)

Mesure du degré de vitesse imprimé par une force motrice donnée.

De la relation ci-dessus on tire la valeur $v = \frac{F \times t}{M}$, et l'on voit que le degré de vitesse qu'une force motrice imprime à un corps pendant un même tems élémentaire très petit, croît proportionnellement à l'intensité de la force motrice et inversement à la masse de ce corps ou de son poids.

Mesure de la force motrice ou d'inertie par la vitesse finie qu'elle imprimerait, en une seconde si elle agissait uniformément.

Maintenant, si nous supposons qu'à une certaine époque du mouvement d'un corps, la force motrice F cesse tout à coup de varier, ou continue d'agir sur le corps avec l'intensité qu'elle possède à cette époque, la vitesse augmentant ou diminuant dès lors de quantités proportionnelles au tems (Leçon 7e page 37) cette intensité pourra être encore mesurée par la vitesse finie qu'elle imprimerait au corps à la fin de la première seconde, s'il pouvait

---

(*) Soit F' une autre force motrice agissant sur un corps de masse M' et qui lui communique dans le même tems élémentaire t, un degré de vitesse v'; on aurait de même $F' = M' \times \frac{v'}{t}$. Donc on aura $F : F' :: M \times \frac{v}{t} : M' \times \frac{v'}{t}$ ou bien $F : F' :: M \times v : M' \times v'$, ce qui indique que deux forces motrices quelconques sont entre elles comme les quantités de mouvement très petites qu'elles communiquent pendant le même tems élémentaire.

lui imprime, dans le même lieu, au bout de la première seconde de tems.

Expression de la force vive au moyen de la masse.

D'après cela, la valeur ci-dessus $\frac{P}{g} \times V^2$ de la force vive d'un corps se trouve aussi représentée, dans les calculs mécaniques, par $M \times V^2$, c'est-à-dire par le produit de la masse de ce corps et du carré de sa vitesse acquise.

Quantité de mouvement.

Enfin les mécaniciens sont également convenus de nommer *quantité de mouvement* d'un corps, le produit de sa masse, définie comme on vient de le dire, par la vitesse simple que possède cette masse, c'est-à-dire que $M \times V$ ou $\frac{P}{g} \times V$ est ce qu'on nomme une *quantité de mouvement* en mécanique: cette quantité est, comme on voit, très différente de ce que nous avons appelé *quantité d'action ou de travail*. (Leçon 5e page 26 et 27) *

Usage de ces mots en mécanique.

Au fait, c'est principalement pour abréger et simplifier les calculs et les raisonnements qu'on emploie les dénominations de masse, de quantité de mouvement; et l'on pourrait aisément s'en passer dans la mécanique industrielle. Mais, comme tous les Auteurs et Mr. Dupin lui même, en ont fait usage, il devient important de bien se pénétrer de leur véritable signification.

8e Leçon.

Les forces motrices sont proportionnelles au degré de vitesse qu'elles impriment à un même corps, dans un même instant très petit.

Nous venons de voir que la pesanteur imprime à un même corps et au bout de la première seconde, des vitesses qui sont constamment proportionnelles à son intensité, ou au poids absolu du corps dans chaque lieu. Mais cette propriété provient uniquement de ce que la pesanteur est censée très peu varier pendant la chûte du corps, de sorte que la vitesse totale au bout de cette chûte, est proportionnelle aux degrés égaux de vitesse imprimés à chaque instant (6e leçon, pages 34 et 36.). Lorsque la force motrice au lieu d'être constante varie à chaque instant, il est évident qu'alors son intensité ne peut plus se mesurer par la vitesse qu'elle imprime à un même corps au bout de l'unité de tems, et qu'elle dépend uniquement du petit degré de vitesse qu'elle lui communique à un instant donné.

---

* Nommons Q la valeur de $\frac{P}{g} \times V$, on aura $Q = \frac{P}{g} \times V$, ou ce qui revient au même $Q : P :: V : g$. Mais P est le poids du corps ou un certain effort, g, ou 9m 8088 est la vitesse que la pesanteur imprime à ce corps, au bout de la première seconde, dans le lieu où nous sommes; donc Q n'est autre chose que l'effort qui serait exercé sur le même corps, par la pesanteur, dans le lieu où elle serait capable d'imprimer la vitesse V au bout de la première seconde de chûte. On voit aussi que la force vive $M \times V^2$ ou $MV \times V$, n'est elle même que le produit de ce dernier effort par la vitesse V, ou par le chemin que décrirait uniformément le corps, dans l'unité de tems, en vertu de sa vitesse acquise. Ces observations peuvent servir à distinguer entr'elles la quantité de mouvement et la force vive, ainsi qu'à montrer l'identité de la nature de cette dernière et de la quantité d'action ou de travail.

d'un corps qui a été élevé à une certaine hauteur (page 32); ce corps sollicité par la pesanteur est la source d'une quantité d'action dont on peut disposer subséquemment pour produire du travail mécanique. Mais, de même que nous ne disons pas que ce corps, actuellement élevé à une certaine hauteur, est une *force*, qu'un ressort bandé est une force; de même aussi il est peu exact de dire qu'un corps en mouvement ou $\frac{P}{g} \times V^2$ est une force. Il en est encore ainsi des hommes, des animaux en général, du calorique, des cours d'eau, du vent &c; ce sont des agents de travail, des moteurs si l'on veut, mais non de simples forces (Voyez page 24, Leçon 5e).

L'objet de la mécanique industrielle consiste principalement à étudier les diverses transformation ou métamorphoses que peut subir le travail des moteurs par le moyen des machines ou des outils, à comparer entre elles les quantités de ce travail, à les évaluer en argent ou en ouvrage de telle ou telle espèce &c.

En résumé, lorsque nous parlerons de la force vive communiquée ou acquise par un corps, sans s'arrêter à la signification propre de cette expression, il faudra seulement se ressouvenir qu'elle se rapporte au mouvement réel de ce corps et au produit du carré de sa vitesse par son poids divisé par g ou $9^m{}8088$

Définition de la masse.

Puisque la pesanteur agit indistinctement sur toutes les particules matérielles d'un corps, et leur imprime, à chaque instant, le même degré de vitesse dans le même lieu, on voit que le poids d'un corps, qui est le résultat de toutes ses actions partielles, peut donner jusqu'à un certain point, une idée de la quantité de matière que ce corps renferme ou de sa masse; en sorte que, suivant cette notion, la masse serait proportionnelle au poids; souvent même on prend, dans les applications, les poids pour les masses. Mais, comme l'intensité de la pesanteur, varie d'un lieu à un autre, et que la quantité de matière ou la masse absolue d'un même corps ne varie pas, on voit que cette dernière serait très mal définie par le poids simple de ce corps. Or l'expérience a appris que la vitesse imprimée par la pesanteur, au bout de la première seconde de chûte, demeurait constamment proportionnelle à son intensité, c'est-à-dire que le rapport $\frac{P}{g}$ restait le même pour tous les lieux. Ainsi P et P' étant les poids absolus d'un même corps transporté, par exemple, à deux hauteurs différentes, g et g' les vitesses qu'à ces hauteurs, la pesanteur imprime à chaque particule de matière, on a $P : P' :: g : g'$ ou $\frac{P}{g} = \frac{P'}{g'}$.

C'est donc ce rapport invariable $\frac{P}{g}$, et non P, qu'on doit prendre pour la valeur de la masse absolue d'un corps, en mécanique. Ordinairement on représente la valeur de la masse par la lettre m ou M : on a donc $M = \frac{P}{g}$, et par suite, $P = Mg$, P exprimant l'effort exercé par la pesanteur sur un certain corps, et g la vitesse qu'elle

donc que la *quantité d'action ou de travail dépensée par la pesanteur est la moitié de la force vive imprimée*, ou si l'on veut, *la force vive imprimée est le double de la quantité d'action dépensée par la pesanteur*.

La quantité d'action consommée a pour mesure la moitié de la force vive perdue ou gagnée.

On remarquera que, lorsque le corps est lancé de bas en haut avec une certaine vitesse, l'action de la pesanteur toujours mesurée par le produit du poids et de la hauteur à laquelle le corps a été élevé, est employée au contraire à détruire cette vitesse, et que, dans les deux cas de la montée et de la descente la moitié de la force vive détruite ou acquise mesure la quantité d'action ou de travail nécessaire pour vaincre l'inertie du corps, soit qu'il s'agisse de lui imprimer une certaine vitesse, ou qu'il s'agisse de détruire celle qu'il possède déjà.

Nous verrons bientôt que ce principe est général, quelle que soit la force motrice qui ait communiqué le mouvement à un corps, et quelle que soit la direction de ce mouvement. Mais il est nécessaire auparavant de faire plusieurs remarques et de poser quelques nouvelles définitions admises par les mécaniciens.

Observations sur la force vive.

Comme l'expression de force vive employée pour désigner le produit $\frac{P}{g} \times V^2$ pourrait induire en erreur beaucoup de personnes, il est bon de remarquer ici que, d'après notre manière de voir, ce n'est point réellement une force pas plus que $P \times H$ ou que ce que nous avons nommé en général *quantité d'action*, *quantité de travail*; c'est tout simplement le résultat de l'activité d'une force motrice ou de pression exprimable en poids qui a été employée à vaincre l'inertie de la matière d'un corps, à imprimer un certain mouvement, une certaine vitesse à ce corps. Sous ce point de vue, la force vive n'est véritablement que *l'effet dynamique* de la force motrice, ou plutôt le double de cet effet, puisque $\frac{P}{g} \times V^2 = 2P \times H$.

A la vérité un corps mis en mouvement, ou un certain effet dynamique, peut à son tour, devenir une cause, une source de travail; ainsi, par exemple, un corps lancé verticalement, de bas en haut, est élevé en vertu de sa vitesse, à une certaine hauteur, tout comme il le serait par l'action d'un moteur animé. Mais il arrive ici la même chose que lorsqu'une force motrice a développé une certaine quantité de travail pour bander un corps élastique (6e Leçon, page 31), l'inertie de la matière a été mise en jeu de la même manière que les ressorts moléculaires l'ont été dans ce dernier cas, cette inertie (voyez page 33,) quand elle a été ainsi vaincue, devient capable de restituer la quantité de travail dépensée, de même que le ressort qui a été bandé; en un mot l'inertie, comme les ressorts sert à emmagasiner la quantité d'action, à la transformer en force vive, de sorte que la force vive est une véritable quantité d'action disponible. On peut en dire autant

On dit ordinairement que la vitesse V est due à la hauteur H, expression abrégée qu'il est essentiel de retenir.

Lois de l'ascension verticale des corps.

Lorsqu'un corps, une balle de fusil par exemple, est lancée de bas en haut selon la verticale, la pesanteur agit, à chaque instant, avec la même intensité, pour diminuer par degrés égaux la vitesse primitive, le mouvement sera donc uniformément retardé, et d'après ce qui précède, la vitesse finira par s'éteindre quand le corps sera arrivé à une certaine hauteur, puis il redescendra, en vertu de l'action de la gravité, en repassant tous les degrés de vitesse qu'il possède en montant et pour les mêmes positions. Ainsi à 1m, à 2m, à 3m au dessus de terre, le corps possèdera exactement les mêmes vitesses, soit dans l'ascension, soit dans la chûte; il n'y aura que la direction du mouvement de changée: par exemple, lors de sa chûte ou de son retour au point de départ, la pesanteur lui aura précisément restitué la vitesse qu'il avait primitivement. — Nommant H la plus grande élévation à laquelle il soit parvenu, et V cette vitesse, on aura donc $V^2 = 2gH$; d'où il sera facile de déduire H quand on aura V et réciproquement.

Cela suppose toutefois que l'air n'oppose aucune résistance au mouvement; car dans la réalité, les corps montent à une hauteur moindre que celle qui répond à leur vitesse initiale, et de plus, ils retombent avec une vitesse moindre que celle qui est due à la hauteur réelle de leur chûte ou de leur ascension.

Quantité de travail de la pesanteur pour imprimer une certaine vitesse.

Nous pouvons maintenant apprécier la quantité de travail ou d'action que dépense la pesanteur pour engendrer une certaine vitesse dans un corps, ou pour vaincre l'inertie. Nommons en effet, P le nombre de Kilogrammes que pèse le corps ou plutôt l'effort absolu que la pesanteur exerce sur ce corps, et qu'il faudrait employer pour le soutenir à une certaine position; ce sera aussi la mesure de l'effort constant exercé sur le corps pendant la descente de la hauteur H. La quantité de travail consommée, pendant cette chûte sera donc représentée (leçon 5e, page 25) par le produit $P \times H$, et cette quantité de travail aura engendré, dans le corps, la vitesse V calculée par l'équation $V^2 = 2gH$. Mais, si l'on divise le produit $2g \times H$ ou V^2 par l'un de ses facteurs $2g$, on aura l'autre $H = \frac{V^2}{2g}$; et par conséquent $P \times H$ est la même chose que $P \times \frac{V^2}{2g}$ ou $\frac{1}{2}\frac{P}{g} \times V^2$.

Force vive des corps.

Ainsi la quantité de travail, développée par la pesanteur pour imprimer une certaine vitesse V à un corps, est égale à la moitié du produit obtenu en multipliant le carré de cette vitesse, par le poids P de ce même corps, divisé par la vitesse g ou 9m,8088 que la pesanteur imprime à tous les corps au bout de la première seconde de leur chûte. Ce produit $\frac{P}{g} \times V^2$ est précisément ce que les mécaniciens ont nommé *la force vive* de P. On voit

déjà parcourue avant cet instant.

Vitesse imprimée par la pesanteur, au bout de la première seconde.

Pour le point du globe où nous nous trouvons, le chemin décrit au bout de la première seconde, est égal à 4.m 9044; donc la vitesse acquise au bout de ce tems, est 2 fois 4.m 9044 ou 9.m 8088. Cette dernière vitesse est ordinairement représentée par g dans la mécanique; ainsi $g = 9.^m 8088$: c'est la connaissance de cette grandeur qui sert à calculer toutes les circonstances du mouvement accéléré des corps qui tombent d'une certaine hauteur (voyez la leçon précédente).

Formules relatives à la chûte des corps dans le vide.

Ordinairement on représente par la lettre h ou H la hauteur, en mètres, d'où le corps est tombé à un certain instant; en nommant toujours T le tems employé par le corps, à décrire le chemin H, ou à tomber de H, et V la vitesse qu'il a acquise à la fin de ce tems, on aura, d'après ce qu'on a trouvé pour le mouvement uniformément accéléré en général, $H = \frac{1}{2} V \times T$, $H = \frac{1}{2} g \times T^2$, $V^2 = 2g \times H$, $V = g \times T$, $g = 9.^m 809$, formules très fréquemment rappelées en mécanique, et d'un grand usage pour calculer les circonstances de la chûte des corps pesants.

Application particulière quand le tems de la chûte est donné.

Supposons qu'on veuille trouver la vitesse acquise V et le chemin H décrit au bout de 7." de chûte, T représentant ici les 7."; on aura $V = g \times T = 9.^m 809 \times 7 = 68.^m 66$ environ, $H = \frac{1}{2} g \times T^2 = 4.^m 9044 \times 49 = 240.^m 316$.

On doit se ressouvenir que dans l'air, le corps ne tomberait pas avec cette vitesse à cause de la résistance; mais d'après ce que nous avons fait observer, cette résistance aurait très peu d'influence si le corps était très dense comme du fer, du plomb &c. ou s'il avait peu de surface comme une balle sphérique et enfin la hauteur de la chûte était faible, par exemple au plus 20.m, on pourrait donc, comme le dit M.r Dupin (2.e Leçon de mécanique), calculer très approximativement alors la hauteur d'une tour, la profondeur d'un puits, en mesurant avec une bonne montre marquant les dixièmes, les cinquièmes de seconde ou le tems total de la chûte.

Connaissant la hauteur de chûte, trouver la vitesse due à cette hauteur.

Si l'on se donnait seulement la hauteur de chûte 10.m, par exemple, on calculerait la vitesse acquise au bas de cette chûte au moyen de la relation $V^2 = 2g \times H$, car on aurait V^2 ou $V \times V = 19.^m 6176 \times 10 = 196,176$ mètres carrés; il ne s'agirait que de trouver la racine carrée de 196,176 ou le nombre qui, multiplié par lui même, donnerait cette quantité; or cette racine est ici 14.m environ, puisque 14×14 ou $(14)^2 = 196$. L'opération, où il s'agit de trouver la vitesse acquise au moyen de la hauteur, se reproduit très fréquemment dans la mécanique pratique; aussi a-t-on construit des tables exprès qui fournissent immédiatement la vitesse répondant à une hauteur donnée, nous les ferons connaître lorsqu'il sera question des lois de l'écoulement des fluides.

La pesanteur agit dans l'intérieur des corps.

On peut d'ailleurs s'assurer très simplement que la pesanteur agit aussi bien sur les molécules intérieures des corps que sur celles du dehors, en observant qu'un même corps pèse également à l'air libre ou placé dans l'intérieur d'un autre corps, par exemple dans une chambre, dans une boîte; ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que l'action de la pesanteur se fasse sentir, à travers la matière de cette enveloppe.

Distinction entre le poids et la pesanteur.

Le poids des corps n'est autre chose que le résultat de toutes les petites actions émanées de la pesanteur sur les molécules matérielles de ces corps. Il ne faut donc pas confondre le poids avec la pesanteur, qui est véritablement la force élémentaire qui sollicite ces diverses molécules. (*)

Circonstances où le mouvement dans l'air est peu altéré.

Enfin il est essentiel de se rappeler que les corps les plus denses, tels que l'or, le plomb, le fer, sont ceux qui, à égalité de volume, de surface, tombent le plus vite dans l'air, parce que la résistance est alors très faible par rapport à leur poids, et qu'elle diminue très peu la rapidité de leur mouvement. On peut même, dans ces circonstances ne tenir aucun compte de cette résistance, quand la chûte ou la vitesse n'est pas très considérable.

Expériences de Galilée et d'Atwood.

Galilée physicien Italien, a le premier recherché, par expérience, la loi que suivent les corps pesants dans leur chûte, abstraction faite de la résistance de l'air, et il a trouvé que leur vitesse est *uniformément accélérée*. La pesanteur est donc une *force accélératrice constante*, agissant avec une intensité égale à chaque instant, quelle que soit la vitesse déjà acquise. Atwood, physicien Anglais, en reprenant les expériences de Galilée avec des moyens plus ingénieux et plus perfectionnés, a obtenu les mêmes résultats. Ainsi nous pouvons énoncer les principes suivants (6e Leçon, page 35 et 36).

Lois de la chûte des corps dans le vide.

Lorsqu'un corps tombe verticalement, et d'une certaine hauteur dans le vide,

1°. Les vitesses acquises sont proportionnelles aux tems écoulés;

2°. Les espaces totaux parcourus ou les hauteurs de chûte, sont proportionnels aux carrés des tems écoulés;

3°. Les mêmes hauteurs sont proportionnelles aux carrés des vitesses acquises au bout de chacune d'elles;

4°. La vitesse acquise au bout d'un certain tems, est double de la hauteur de chûte

---

(*) Faute essentielle à corriger dans la 5e Leçon, page 25, ligne 12e après &c, ajoutez à une même hauteur, le travail est bien double, triple de ce qu'il serait pour le poids simple

corps, continue à agir en lui imprimant à chaque instant des degrés de vitesse égaux à ceux qu'elle avait détruits d'abord, le corps retournera dès lors en arrière, en reprenant les mêmes vitesses quand il repassera par les mêmes positions. C'est ce qu'indique la ligne $0t_3$ en supposant que les tems soient comptés à partir de t_3 vers 0 ; car la force motrice qui est devenue accélératrice, aura imprimé, en sens contraire, la vitesse t_2v_2 au bout du tems t_3t_2, la vitesse t_3v_3 au bout du tems t_1t_3 &c.

Mouvement vertical des corps pesants.

L'un des exemples les plus importants du mouvement uniformément accéléré est celui que nous présente la chûte verticale des corps pesants ; mais avant de l'exposer, faisons connaître les circonstances qui accompagnent et qui modifient ce mouvement à la surface de la terre.

Causes qui à la surface de la terre, modifient ce mouvement.

Déjà nous avons vu (3e leçon page 16) que la pesanteur pouvait être considérée comme une force sensiblement constante dans l'étendue ordinaire des travaux de l'industrie. Mais, à la surface de notre globe, tous les corps sont plongés dans l'air, et cet air est lui même un corps matériel qui, en vertu de son impénétrabilité, de son inertie, s'oppose avec plus ou moins d'énergie, à toute espèce de mouvement des corps, c'est là ce qu'on nomme sa résistance. L'expérience a depuis long-tems appris que la résistance de l'air croît avec la vitesse du mouvement et avec l'étendue de la surface des corps : c'est ainsi qu'en frappant l'air avec une palette plane très légère, la résistance qu'on éprouve est d'autant plus grande que le mouvement est plus rapide, tandis qu'elle est à peine sensible quand le mouvement s'opère avec lenteur. Pareillement elle diminuera, si au lieu de frapper l'air avec toute la surface de la palette, on présente cette palette de biais ou de champ, c'est-à-dire sur le côté mince.

Influence de l'air sur la chûte des corps, le mouvement dans le vide est le même pour toutes les substances.

On conçoit, d'après cela, que la présence de l'air doit apporter des modifications aux lois de chûte verticale des corps soumis à l'action de la pesanteur. En laissant tomber dans l'air des corps d'une même hauteur, on remarque que ceux qui pèsent plus sous le même volume, ou ceux qui présentent le moins de surface dans le sens du mouvement, arrivent les premiers au bas de leur chûte : ainsi une balle de plomb tombe plus vite qu'une balle de bois, égale en grosseur, celle-ci plus vite qu'une balle de liège &c. Mais, si l'on fait tomber les mêmes corps dans un cylindre où l'on aurait fait le vide, au moyen d'un piston par exemple, on reconnait par l'expérience, que tous ces corps arrivent en même tems alors en bas de leur chûte.

Il suit de là que la pesanteur ou gravité agit indistinctement sur toutes les particules de la matière, et leur imprime à chaque instant, le même degré de vitesse dans le vide, résultat qu'il est bien essentiel de retenir.

au moyen des propriétés géométriques de la figure, en se rappelant les diverses notions déjà établies précédemment.

Qu'il s'agisse, par exemple, de calculer le chemin décrit par le corps au bout du tems Ot_4, lequel est représenté ici par l'aire du trapèze $Ov_0v_4t_4$, on apercevra de suite qu'il se compose du Chemin $Ov_0t'_4t_4$ décrit uniformément en vertu de la vitesse Ov_0, augmenté de celui $v_0v_4t'_4$ qui serait décrit sous l'action de la force motrice constante, d'un mouvement uniformément accéléré et à partir de l'instant du départ. Or nous avons appris ci-dessus à calculer l'un et l'autre de ces chemins.

Lois du mouvement uniformément retardé

Maintenant on peut supposer que la force motrice constante, au lieu d'augmenter sans cesse et par degrés égaux la vitesse initiale ou primitive Ov_0, la diminue au contraire à chaque instant, le mouvement sera alors uniformément retardé. En menant la parallèle $v_0t'_1t'_2$ à Ot_4, on verra que la vitesse v_3t_3, qui répond à un tems quelconque Ot_3 écoulé depuis l'origine O du mouvement, n'est autre chose que la vitesse primitive Ov_0 diminuée de la vitesse $v_3t'_3$ que le corps acquerrait sous l'action de la force motrice, au bout du tems Ot_3, si ce corps partait du repos.

L'aire du trapèze $Ov_0v_4t_4$ étant encore ici la représentation du chemin décrit au bout du tems Ot_4, en vertu du mouvement retardé, on voit que ce chemin est égal à celui qui serait décrit uniformément, pendant le même tems et avec la vitesse primitive, moins celui qui serait décrit, sous l'action de la force motrice constante, d'un mouvement uniformément accéléré et à partir de l'instant du départ. On pourrait donc encore calculer, dans le cas actuel et au moyen de la figure, toutes les circonstances du mouvement, si l'on connaissait la vitesse initiale Ov_0 ainsi que la diminution de vitesse $v_3t'_3$ due à la force retardatrice, au bout d'un tems quelconque Ot_3, ou, si l'on veut, à la fin de la première seconde de tems écoulé.

Supposons entre autres qu'on veuille trouver le tems Ot_5 au bout duquel la force motrice aura éteint entièrement la vitesse du corps, on aura, par les triangles semblables $v_0t'_3v_3$ et v_0Ot_5, la proportion,

$$v_3t'_3 : v_0t'_3 \text{ ou } Ot_3 = 1'' :: t_5t'_5 : Ot_5 \text{ ; d'où } Ot_5 = \frac{1 \times t_5t'_5}{v_3t'_3} = \frac{Ov_0}{v_3t'_3}.$$

Quant au chemin décrit par le corps, depuis l'instant du départ jusqu'à celui où la vitesse est devenue nulle, il sera donné par la surface du triangle

$$Ov_0t_5 \text{ ou par le produit } \tfrac{1}{2}\,Ov_0 \times Ot_5 = \tfrac{1}{2}\,Ov_0 \times \frac{Ov_0}{v_3t'_3} = \tfrac{1}{2}\,\frac{\overline{Ov_0}^{\,2}}{v_3t'_3}.$$

Une remarque très importante à faire, c'est que, si l'on suppose que la force motrice constante, après avoir anéanti complètement la vitesse initiale du

puis enfin, en vertu de la troisième.

$v_1 : E$, ou $\frac{1}{2}\ v_1 : E :: v_1^2 : V^2$, d'où $V^2 = 2 v_1 \times E$.

Nous avons d'ailleurs, en vertu même de la définition du mouvement uniformément accéléré,

$v_1 : V :: 1'' : T$; d'où $V = v_1 \times T$.

Ces différents résultats serviront à calculer la valeur de deux quelconques des quantités E, V, T quand on connaîtra celle de la troisième ainsi que le chemin e_1 ou la vitesse v_1 qui répondent à l'unité de tems 1'', il ne s'agira que de remplacer chaque lettre par le nombre d'unités de tems ou de longueur qu'elle représente, et d'effectuer les opérations indiquées(*)

(Nous renverrons nos lecteurs, tant pour cette leçon que pour la suivante, à la 1re leçon du cours mécanique de Mr. Dupin (page 49 à 59) où ils trouveront des développements qui leur faciliteront l'intelligence parfaite des lois du mouvement uniformément varié).

7ème Leçon

Cas où le corps a une vitesse déjà acquise, quand on commence à compter le tems.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que le corps partait avec une vitesse nulle, en sorte que la droite qui donne la loi de son mouvement passait par l'origine O du tems : mais, s'il avait déjà une vitesse Ov_0 acquise antérieurement, cette droite passerait par le point v_0, extrémité de l'ordonnée Ov_0 qui représente cette vitesse de départ. ——— En menant la parallèle $v_0 t_1' t_2'$ à Ot_4, on verra que la vitesse $v_3 t_3$, qui répond à un tems quelconque Ot_3 écoulé depuis l'origine O du mouvement, se composera de la vitesse $t_3 t_3'$ égale à la vitesse *initiale* Ov_0, augmentée de la vitesse $v_3 t_3'$ que le corps acquerrait sous l'action de la force motrice constante et au bout du tems correspondant Ot_3 ou $v_0 t_3'$, si le corps partait réellement avec une vitesse nulle, comme dans le cas précédent ; car la droite $v_0 v_4$ donne, dans ce cas, par rapport à $v_0 t_4'$, pris pour axe des tems, la loi de l'accélération de la vitesse. Connaissant donc la vitesse que la force imprimerait au corps au bout de la première seconde, s'il partait du repos, on aura tout ce qu'il faut pour construire $v_0 v_4$ par rapport à $v_0 t_4'$, et par conséquent par rapport à Ot_4 ; d'où il sera aisé de déduire toutes les circonstances du mouvement et de les calculer

---

(*) La notation $V^2 = 2 v_1 \times E$ qui indique que la vitesse V est *moyenne proportionnelle* entre $2 v_1$ et E, ou entre le double du chemin décrit dans la première seconde, et celui décrit au bout du tems T, présente seule quelques difficultés pour le calcul de V, mais on peut y parvenir au moyen de constructions graphiques (Leçon de Géométrie), ou par les tables que nous ferons connaître plus tard, ou enfin par l'extraction directe de la racine carrée du produit $2 v_1 \times E$. (voy. Géométrie de Mr. Bergery.)

qui finit par se confondre avec la surface même du triangle correspondant Ov_9t_9, quand on suppose que le tems total Ot_9 a été divisé en un nombre indéfini de parties égales et indéfiniment petites, le raisonnement étant ici le même que celui qui a été mis en usage, page 22, leçon 4e pour la mesure du travail.

Lois du mouvement uniformément accéléré.

De ce que le chemin décrit au bout d'un tems quelconque est, pour le mouvement uniformément accéléré, représenté par la surface du triangle qui a pour base ce tems et pour hauteur la vitesse acquise au bout de ce même tems, on peut déduire plusieurs conséquences importantes et qui permettent de calculer les circonstances de ce genre de mouvement.

Puisque la surface de tout triangle Ov_9t_9 a pour mesure la moitié du rectangle de même base et de même hauteur, et que ce dernier (voyez 3e leçon page 11) représente le chemin qui serait décrit uniformément pendant un tems égal à Ot_9 et avec la vitesse v_9t_9 acquise au bout de ce tems, on voit que :

1° *Dans le mouvement uniformément accéléré, le chemin décrit au bout d'un tems quelconque est la moitié de celui que le mobile décrirait, dans un tems égal, s'il se mouvait uniformément avec la vitesse qu'il a acquise dans le premier tems*

Puisque les chemins décrits au bout de deux tems quelconques Ot_3 Ot_6, sont représentés par les triangles Ot_3v_2, Ot_6v_5, que ces triangles sont semblables, et que (leçons de géométrie) leurs surfaces sont comme les carrés des côtés homologues, il en résulte encore que

2° *Dans le mouvement uniformément accéléré, les chemins décrits au bout de deux tems quelconques, sont entr'eux comme les carrés de ces tems.*

3° *Que ces mêmes chemins sont aussi entr'eux comme les carrés des vitesses acquises au bout des tems correspondants.*

Formules pour calculer les circonstances du mouvement uniformément accéléré.

Lorsque dans le mouvement uniformément accéléré, on se donne la vitesse v_3t_3 acquise au bout d'un tems quelconque Ot_3, par exemple au bout d'une seconde, prise pour unité de tems, la loi du mouvement ou la droite Ov_3 qui la représente est entièrement déterminée ; en sorte qu'on peut calculer alors la vitesse et l'espace qui répondent à un autre tems quelconque

En effet, représentons par e_1, v_1 le chemin et la vitesse qui répondent à la première seconde, soient **E**, **V** le chemin et la vitesse qui répondent à un nombre quelconque de secondes, représenté par **T**, on aura d'abord, en vertu de la première des propositions ci-dessus.

$$e_1 = \frac{1}{2} v_1 \times 1'' = \frac{1}{2} v_1, \quad E = \frac{1}{2} V \times T;$$

puis, en vertu de la deuxième,

$$e_1 : E :: 1'' \times 1'' : T \times T \text{ ou } T^2; \text{ d'où l'on tire } E = e_1 \times T^2 = \frac{1}{2} v_1 \times T^2;$$

selon que la force motrice constante agit pour augmenter ou diminuer la vitesse du corps.

Du mouvement uniformément accéléré.

Commençons par le mouvement uniformément accéléré, et rappelons nous (3e Leçon, page 13) que la vitesse acquise à un certain instant, est mesurée par le chemin que décrirait le corps, dans l'unité de tems et à compter de cet instant, si la force motrice cessant son action le corps continuait à se mouvoir uniformément et en vertu de son inertie, vitesse que nous avons enseigné à calculer au moyen de la loi qui lie les tems aux espaces décrits.

Nous pouvons encore représenter ici par le dessin la loi qui lie aux temps, les vitesses acquises par le corps au bout de ces tems, en traçant une ligne, $Ov_1v_2v_3 \ldots v_9$. Dont les abscisses $Ot_1, Ot_2 \ldots Ot_9$ représentent les tems écoulés depuis l'origine du mouvement, et dont les ordonnées $t_1v_1, t_2v_2, t_3v_3 \ldots t_9v_9$ représentent les vitesses acquises au bout de ces tems $Ot_1, Ot_2, Ot_3 \ldots\ldots Ot_9$.

Cela posé, puisque dans le cas du mouvement uniformément accéléré les vitesses t_1v_1, $t_2v_2, t_3v_3, \ldots t_9v_9$ sont proportionnelles aux tems écoulés $Ot_1, Ot_2, Ot_3 \ldots Ot_9$, il est clair que la ligne $Ov_1v_2 \ldots v_9$ est une ligne droite qui passe par l'origine O des abscisses, quand le mobile part du repos, car alors le tems et la vitesse sont nuls à la fois à l'instant du départ. Supposez qu'on ait partagé l'axe OB des abscisses ou des tems, en un grand nombre de parties égales très petites puis qu'on ait élevé les ordonnées correspondantes, et qu'enfin on ait mené par l'extrémité des ordonnées des parallèles à l'axe des abscisses on formera une suite de petits triangles $v_1v_2b_2$, $v_2v_3b_3 \ldots$ égaux et rectangles. Les côtés v_1t_1, $v_2b_2 \ldots v_9b_9$ de ces triangles marqueront les accroissements successifs de la vitesse, lesquels seront égaux et constants comme leurs petits instants correspondants Ot_1, $v_1b_2 \ldots v_8b_9$ conformément à la définition du mouvement uniformément accéléré.

Les intervalles de tems successifs $Ot_1, t_1t_2, t_2t_3 \ldots$ étant supposés très petits, on peut regarder le corps comme se mouvant uniformément pendant l'un quelconque t_3t_4 ou v_3b_4 de ces intervalles et avec la vitesse v_3t_3 acquise au commencement de chacun d'eux. Or, en vertu du mouvement uniforme, l'espace décrit dans un tems quelconque (Leçon 3e page 13), est mesuré par le produit de la vitesse et du tems employé à le parcourir; ainsi l'espace décrit ici pendant le temps élémentaire t_3t_4, sera égal à t_3t_4 multiplié par la vitesse acquise v_3t_3 au commencement de ce tems élémentaire. Ce produit n'étant autre chose que la mesure du petit rectangle $t_3v_3b_4t_4$ la surface de ce dernier pourra ainsi représenter l'espace parcouru pendant le tems élémentaire t_3t_4: pour un autre intervalle quelconque t_4t_5 égal au premier, l'espace décrit sera également représenté par le rectangle $t_4v_4b_5t_5$. Donc l'espace total décrit pendant le tems Ot_9, a pour mesure la somme ou la surface des rectangles élémentaires $t_1v_1b_2t_2$, $t_2v_2b_3t_3 \ldots t_8v_8b_9t_9$, somme

[illegible] opposent au mouvement par suite de leur inertie, et dont nous n'avons nullement [illegible] compte dans ce qui précède, bien que réellement on ne puisse en aucune manière la séparer des autres genres de résistances quand il s'agit de travailler. Nous avons déjà remarqué par exemple que le limeur est obligé de vaincre l'inertie de la matière propre de sa lime, le cheval attelé à une voiture, l'inertie de la masse de cette voiture et du fardeau qu'elle supporte &c. Il est donc fort important d'apprécier à sa juste valeur la quantité de travail qu'un corps donné absorbe pour acquérir un certain degré de mouvement ou de vitesse, indépendamment de ce qu'il arrive souvent que le mouvement est le but utile même du travail, comme lorsqu'il s'agit de lancer des projectiles, des boulets par le ressort des gaz ou des corps solides. C'est même en cela que consiste l'art de la Balistique mis en usage par tous les peuples pour combattre. Enfin il arrive encore très souvent qu'au lieu d'appliquer immédiatement une puissance à la production d'un travail, on la fait agir d'abord sur un corps libre et qu'on se sert du mouvement acquis par ce corps pour effectuer le travail au moyen du choc. Exemple, les pilons, les marteaux, de sorte que l'inertie des corps sert aussi à restituer la quantité de travail qu'elle a consommée pour être vaincue.

Action des forces motrices employées à vaincre l'inertie ou à produire le mouvement. (*)

Du mouvement uniformément varié en général

Nous considérerons d'abord le cas le plus simple, celui d'un corps qui est pressé, à chaque instant, par une force motrice constante, égale et contraire à la résistance opposée par l'inertie, dans la direction du mouvement. Or il est clair que la pression étant la même à chaque instant, l'accroissement ou le décroissement très petit de la vitesse sera aussi le même ou constant pour le même corps. Ainsi dans le cas dont il s'agit la vitesse croîtra ou décroîtra comme le temps, proportionnellement aux temps écoulés depuis l'instant où le mouvement a commencé, ces expressions revenant au même : c'est ce qu'on appelle le mouvement uniformément varié en général, ou uniformément accéléré, retardé;

(*) Fautes essentielles à corriger dans la 3e Leçon page 1[illegible] dernier paragraphe 10e ligne en remontant au lieu de [illegible] mettez [illegible]. Ligne suivante, au lieu de [illegible] ne pas, mettez ne donne pas. 3e ligne en remontant au lieu de [illegible] après ce qui précède, [illegible] espace mettez [illegible] après ce qui précède, c'est le petit espace. Ligne suivante, [illegible] des virgules après les mots [illegible] instant qui

d'enfermer dans les corps inertes, une force capable de les faire travailler à la manière des moteurs animés, tels que l'homme et le cheval. C'est par de semblables moyens que les montres, les pendules reçoivent le mouvement pendant des jours des mois entiers.

La pesanteur rend aussi les corps susceptibles de reproduire le travail dépensé pour élever ces corps.

La pesanteur offre aussi un moyen d'emmagasiner le travail mécanique des forces, et de le rendre disponible au besoin.

Quand un moteur a élevé un corps à une certaine hauteur, en dépensant une certaine quantité de travail, mesurée par le produit du poids de ce corps et de la hauteur à laquelle il a été porté, ce corps employé ensuite à vaincre des résistances, soit directement, soit par le moyen de machines, pourra restituer dans sa descente, précisément la même quantité de travail que celle qui avait été dépensée primitivement. C'est ainsi que le mouvement est communiqué aux grandes horloges, aux tourne-broches &c. L'eau qui fait mouvoir, par sa pesanteur, nos machines, nos usines, a été élevée primitivement à la hauteur des sources, ou plutôt à celle des nuages, par l'action de la chaleur qui l'a d'abord vaporisée à la surface de la terre.

Cette reproduction n'a pas lieu quand le travail a eu pour objet de détruire la force d'agrégation des particules des corps.

Il n'en est pas de même à l'égard des résistances que présentent les corps, lorsqu'un moteur a été employé à les briser, à les rompre, à les polir, à les faire frotter, à détruire en un mot leur force d'affinité, la quantité de travail dépensée alors est entièrement anéantie sous le point de vue mécanique, en ce sens qu'elle ne pourra nullement être restituée par les corps après qu'ils auront subi ce changement d'état.

Réflexions générales sur la force des ressorts des animaux et de la chaleur.

Les ressorts comme les animaux et les combustibles qui donnent la chaleur, ont cela de particulier, qu'ils sont facilement transportables et peuvent même servir de véhicules. Ainsi l'on a vu des voitures mises en mouvement par des ressorts placés sur ces voitures, de même qu'on voit quelquefois des bateaux mus par la force des animaux ou de la vapeur de l'eau chauffée, et qui sont eux-mêmes transportés par ces bateaux. Mais il ne faut pas oublier que les ressorts n'étant jamais parfaits, et étant soumis à des résistances étrangères, rendent toujours moins de travail mécanique qu'ils n'en ont reçu; qu'enfin les animaux, la chaleur même, sources premières de tous les travaux mécaniques des arts industriels, exigent une certaine dépense en nourriture, en combustible &c., qui à son tour est la représentation d'un certain travail mécanique, de sorte qu'il est réellement impossible de créer de la force motrice sans qu'il y en ait eu de dépensée primitivement.

L'inertie des corps est un autre moyen de produire le travail mécanique.

Jusqu'à présent nous avons examiné le travail de la force lorsqu'elle est employée à vaincre la pesanteur, la résistance inhérente à l'état d'agrégation des corps ou à leur force d'affinité, à leur force de ressort &c. il nous reste à parler de la résistance que

Les ressorts parfaitement élastiques restituent, dans le débandement toute la quantité de travail qu'ils ont d'abord dépensée.

Pour démontrer clairement comment le ressort des corps peut développer ou restituer lors du débandement, une certaine quantité de travail mécanique, il ne s'agit que de voir ce qui se passe à l'instant où un corps revient progressivement à sa forme primitive après avoir été comprimé, et se rappeler ce que nous avons dit précédemment sur la manière de mesurer la quantité de travail d'une force qui est employée à bander ou comprimer des ressorts. En effet tout consistera à évaluer en poids, les diverses pressions qui correspondent à chaque allongement du ressort, depuis l'instant où la compression est la plus forte jusqu'à celui où elle est nulle et où le corps a pris la position qu'il peut alors conserver par lui même. Si le corps reprend, à ce dernier instant, exactement la forme qu'il avait avant d'être bandé; si d'ailleurs les pressions qui répondent aux mêmes degrés de tension, aux mêmes positions de ce corps, sont les mêmes, si en un mot le corps est parfaitement élastique, la quantité de travail produite par son débandement, contre une résistance à vaincre, sera évidemment égale à celle qu'il a fallu dépenser primitivement pour le bander, puisque la courbe qui donne la loi des pressions et des espaces décrits, sera la même de part et d'autre. Si, au contraire, le corps n'est pas parfaitement élastique, il ne reviendra pas à sa première forme, les pressions seront moindres dans le débandement, le travail restitué sera aussi moindre que celui qui a été d'abord dépensé, et il y aura une certaine quantité de travail perdu comme nous l'avons avancé ci-dessus.

Usages des corps élastiques dans les arts comme réservoirs d'action ou de travail.

Nous avons vu qu'il n'y a guères que l'air et les gaz qui soient parfaitement élastiques, lorsqu'on les enferme dans des espaces clos et qu'on les presse avec un piston mobile. De tels ressorts peuvent donc servir à emmagasiner le travail mécanique, à faire fonction de réservoir en les bandant jusqu'à un certain point, et les maintenant à ce point par des moyens faciles à imaginer. Les Catapultes, les Balistes, les Arcs des Anciens lançaient des flèches, des pierres &a par le débandement des ressorts. On connait l'usage du fusil à vent qui n'est qu'un réservoir d'air comprimé. Le calorique qui dilate les corps et met en jeu leurs ressorts moléculaires, rend, par là même, certains corps notamment la vapeur d'eau et les gaz, capables de développer du travail; il ne s'agit que de les chauffer ou de les refroidir alternativement. La vapeur d'eau, la poudre à Canon produisent des effets terribles, quand on y applique une chaleur suffisante. Ces divers agents ne servent pas seulement à lancer des projectiles; on peut aussi leur faire mouvoir des machines et produire des travaux industriels. En un mot, l'élasticité permet

son effet serait absolument nul quant à l'objet utile du travail. La même chose pourrait se dire à l'égard d'un homme qui tirerait ou pousserait contre la barre d'un manège dans le sens de sa longueur et non dans celui du mouvement circulaire de cette barre &c. Cependant on voit que le moteur aurait réellement dépensé une certaine quantité d'action ou de travail en comprimant le corps auquel il est appliqué.

Les forces peuvent travailler sans produire d'effet utile, une partie de leur travail est consommée par la déformation des corps.

Ces réflexions sont très importantes puisqu'elles prouvent en général que les forces motrices peuvent travailler ou développer une certaine quantité d'action sans produire aucun effet utile. De plus, comme les divers agents matériels, les diverses pièces qui composent les machines et qui servent à transmettre le mouvement et le travail, n'agissent les uns sur les autres qu'en se comprimant ou se tirant mutuellement, on aperçoit de suite que, même lors que le point d'application de la force motrice est mis en mouvement dans la direction propre de cette force, il doit d'abord se dépenser une certaine quantité de travail pour faire plier ou tendre les pièces qui transmettent l'action, avant que le mouvement ne soit devenu régulier et uniforme; de sorte qu'il pourra arriver que ce premier travail de la puissance soit totalement perdu si les corps, en cessant d'être comprimés, conservent la forme qu'ils ont acquise par suite du travail, c'est-à-dire, s'ils ne sont pas élastiques, ou plus généralement si les ressorts moléculaires ne contribuent pas à augmenter le travail à l'instant où le débandement a lieu, comme ils ont contribué à le diminuer lorsqu'ils ont été d'abord bandés par l'action de la puissance.

Cette perte de travail augmente avec le nombre des intermittences d'action de la force.

On conçoit même que si l'action du moteur, ou de la résistance occasionnée par le travail, éprouve de fréquentes alternatives, ou devient tantôt plus faible, tantôt plus forte, qu'en un mot si les corps sont souvent comprimés, puis détendus, la perte de travail pourra être très comparable au travail total de la puissance; ce qui n'aurait pas lieu si l'action de cette dernière était constamment la même, et ne variait qu'aux reprises et aux cessations du travail.

Elle peut être très grande dans le cas du choc.

Le choc des corps développant des pressions très considérables et qui produisent des déformations sensibles, la quantité d'action développée ou détruite alors sera toujours appréciable; voilà pourquoi il sera indispensable, dans les applications de la mécanique à l'industrie, de ne jamais négliger l'influence des chocs plus ou moins violents survenus pendant le travail.

Avantages qu'il y a de régulariser l'action des forces et de faire usage des corps raides et élastiques.

Enfin ces réflexions nous font déjà entrevoir, tout l'avantage qu'il y a à régulariser l'action des forces et le mouvement des pièces qui la transmettent, quand il s'agit de leur faire opérer un travail industriel quelconque; et à employer pour ces pièces, des corps en même tems raides et élastiques, c'est-à-dire très peu susceptibles de se déformer.

Moyens d'apprécier cet effet, ou le travail qu'il nécessite.

Formons, comme nous l'avons déjà expliqué, une courbe $O r_1 r_7$, dans les abscisses représentent les chemins décrits successivement par le point d'action de la force ou de la résistance, dans sa direction propre, et dont les ordonnées représentent les pressions ou les résistances exercées en sens contraire par le corps; la quantité de travail détruite pour un petit chemin quelconque $e_4 e_5$, sera mesurée par le rectangle formé sur ce chemin et sur l'ordonnée correspondante $e_4 r_4$, si l'on veut par le trapèze curviligne $e_4 r_4 r_5 e_5$, le travail total le sera par l'aire entière $O r_7 e_7$, comprise entre la courbe, l'axe des abscisses et la dernière ordonnée $r_7 e_7$ représentant le plus grand effort. Si donc il arrive que le corps ou l'obstacle s'allonge ou se comprime d'une quantité appréciable, c'est-à-dire si l'espace total $O e_7$ décrit par le point d'application de la force est assez considérable, et qu'il en soit ainsi de la plus grande résistance $e_7 r_7$, la quantité de travail dépensée par la puissance pourra être très applicable, et il faudra en tenir compte dans certaines circonstances que nous ferons connaître.

Ce travail peut être négligé ou considéré comme nul.

Mais, comme en général les corps qui servent à transmettre ou à recevoir l'action des forces, sont choisis assez résistants, assez raides, pour ne pas fléchir d'une manière sensible sous cette action, on conçoit que dans tous les cas semblables, le travail effectué sera une fraction très petite de celui que le moteur pourrait développer si l'obstacle se mouvait tout en opposant une certaine résistance, c'est-à-dire si le chemin décrit devenait très grand par rapport à celui qui provient de la simple déformation de l'obstacle, ce travail étant donc très petit et n'ayant aucun but d'utilité, il sera permis de n'en pas tenir compte, et c'est sous ce rapport seulement qu'on peut dire que le travail d'un moteur qui agit sur un obstacle fixe est entièrement nul.

Il peut encore être considéré comme nul quand la force agit perpendiculairement au mouvement d'un corps.

Maintenant nous devons remarquer que ces réflexions sont également applicables toutes les fois qu'une force agissant en un certain point d'un corps en mouvement, ce point ne cède pas sensiblement à l'action de la force et dans sa propre direction, ou que le chemin qu'il sera contraint de décrire, par suite de sa liaison avec d'autres corps, sera à chaque instant perpendiculaire à la direction de la force, celle-ci ne faisant que comprimer inutilement le corps, et ne produisant aucun travail effectif dans le sens du mouvement son travail ou sa quantité d'action devra toujours être censé nul, tout comme pour le cas où le moteur agit sur un obstacle fixe. Un homme qui tirerait ou pousserait sur le côté d'une voiture en mouvement et perpendiculairement au chemin qu'elle décrit, n'aiderait en rien le travail des chevaux;

ou par leur plus grande vitesse.

timait, par exemple, à estimer la force d'un homme par la grandeur du fardeau qu'il peut soulever ou soutenir en équilibre contre l'action de la pesanteur, ou en faisant tirer un cheval contre un obstacle fixe, et mesurant, au moyen d'un ressort ou dynamomètre, l'effort absolu le plus grand effort qu'il peut exercer, on prétendait, de cette seule donnée, conclure la valeur de la force industrielle. Il est évident qu'il faut, en outre, savoir combien de temps le moteur soutiendrait cet effort et quel chemin il pourrait parcourir en l'exerçant d'une manière continue. Il est tellement vrai qu'exercer un effort ou supporter un fardeau, ce n'est pas travailler réellement, qu'on peut toujours alors remplacer un moteur par un corps inerte, tel qu'un support, une cheville &a.

Pareillement il ne serait pas moins absurde de ne tenir compte que du chemin parcouru par le point d'action d'un moteur, sans avoir égard à l'effort qu'il exerce à chaque instant, il est évident par exemple qu'un coureur, qu'un cheval qui galoppe sans exercer d'effort, ne produisent aucun travail effectif et extérieur, et que ce serait mal juger de la quantité d'ouvrage qu'ils pourraient produire, que de se borner à mesurer la plus grande vitesse qu'ils sont capables de s'imprimer. En un mot, on doit être bien convaincu que le pouvoir productif des moteurs doit se mesurer à chaque instant, dans tous les cas, par le produit de l'effort et du chemin parcouru dans la direction de cet effort ou de la résistance qui lui est égale et directement contraire, de sorte que si l'effort ou le chemin décrit est nul le produit le sera pareillement et par conséquent le travail mécanique.

6ᵉ Leçon.

Les forces ne peuvent agir, même sur des corps fixes, sans produire un certain effet.

Remarquons cependant que puisque tous les corps sont plus ou moins compressibles et extensibles, une force motrice ne peut jamais agir, même contre des obstacles fixes, sans produire et dépenser une certaine quantité d'action, un certain travail mécanique tel que nous l'avons défini. car le point où cette force est appliquée a plus ou moins cédé, le corps a plié, s'est applati, ou s'est allongé; les ressorts moléculaires ont opposé de la résistance, il y a eu un petit chemin décrit par le point d'application, dans la direction de la force, d'abord l'effort de la résistance égale et contraire, étaient nuls, ensuite ils ont augmenté progressivement jusqu'à ce que l'effort de la puissance ait atteint son maximum, sa plus grande valeur, et le corps sa plus grande déformation possible sous l'action de la force; passé quoi cette action s'est réduite à maintenir le corps ou l'obstacle à son état de tension et au repos, sans produire désormais aucun travail mécanique.

nant on ajoute à cette définition du travail, le tems pendant lequel on suppose qu'il s'effectue et qu'il est continué uniformément, on aura une idée complette de sa valeur.

Diverses unités de travail proposées ou adoptées.

Les mécaniciens sentant l'importance de fixer une unité de travail et de lui donner un nom, comme on l'a fait pour le gramme le litre &c, en ont proposé de diverses espèces; mais on n'est point jusqu'à présent tombé d'accord sur le choix de cette unité, et il est probable qu'on ne le sera pas plus pour cet objet que pour désigner l'unité de vitesse, qui dépend à la fois de l'unité de temps et de l'unité de longueur. Les uns tels que M. M. Mongolfier, Hachette, Clément &c, ont pris un mètre cube d'eau ou 1,000 Kilog. élevés à 1 mètre de hauteur. D'autres tels que Mr. Dupin ont proposé d'adopter (voyez la leçon Dynamie, Tome III) 1,000 cubes d'eau ou tonneaux élevés à 1 mètre, en ajoutant que ce travail s'opérait dans les 24 heures. On a même nommé ces unités Dynames, Dynamies; mais aucune n'a encore pris faveur dans le public.

Depuis que les machines à vapeur commencent à s'introduire en France, les mécaniciens ont adopté assez généralement unité de travail qu'ils nomment *force* ou *pouvoir de cheval*, d'après l'exemple des anglais de qui nous viennent ces machines cette unité n'a pourtant rien de bien défini, parce que la force du cheval est variable; cependant il n'y aurait pas d'inconvénient à s'en servir, si tous les mécaniciens s'entendaient sur sa valeur *fictive*, et si le Gouvernement la consacrait par une loi, mais il en est autrement, quoiqu'il en soit, la valeur qui paraît la plus généralement accréditée, d'après Watt et Boulton, soit en Angleterre, soit en France, ne s'écarte que de très peu du travail mécanique de $75^{K \times m}$, censé produit pendant la durée d'une seconde: telle est du moins l'idée qu'on peut prendre de sa valeur approximative dans l'industrie manufacturière. Connaissant donc la quantité de travail d'un moteur, on l'estimera en nombre de chevaux de force en se rappelant que le cheval vaut $75^{K.m}$ par seconde ou $150^{liv.}$ à 450 pieds ou enfin $450^{li \times p}$; car c'est la même chose pourvu que la livre et le pied soient la nouvelle livre et le nouveau pied adoptés légalement en France, et dont l'une vaut le demi Kilogramme et l'autre le tiers de mètre.

Erreur que l'on commettait en appréciant la force des moteurs simplement par leur plus grand effort

D'après ce qui précède on doit être convaincu de l'erreur que l'on commettait, si pour évaluer la force, le pouvoir productif d'un moteur ou d'une machine, on se contentait simplement de mesurer l'effort absolu dont ils sont capables, sans considérer le chemin qu'ils font parcourir au point d'application de cet effort, dans un certain tems; si l'on se

Le travail mécanique est ce qui se paie dans les forces.

Il est évident que tout travail se juge d'après la quantité d'ouvrage de chaque espèce qui se fait: mais nous venons de voir que la quantité d'ouvrage est proportionnelle à celle du travail mécanique qu'elle nécessite directement; donc le travail ou la quantité d'action est ce qui se paie dans la force.

Manière d'exprimer en nombre le travail continu de forces.

Quand un moteur ou un outil travaille pendant un temps assez long ou quand il travaille continuellement et d'une manière uniforme, régulière, on se contente d'indiquer ce qu'il fait dans l'unité de temps, par exemple dans un jour, dans une heure, dans une minute, dans une seconde. Mais il ne faut pas oublier le tems total pendant lequel le travail est continué. Ainsi nous dirons le travail mécanique d'un cheval est de 60 Kilogrammes parcourant un mètre par seconde ou de 60 Kil. parcourant 60m par minute, ce travail étant continué pendant 8 heures entières chaque jour. On change ainsi d'unités, afin d'éviter les nombres trop grands qui résulteraient du produit de l'effort par le chemin total parcouru.

Le plus ordinairement on considère le chemin décrit pendant la seconde prise pour unité de tems, afin d'avoir de petits nombres à considérer: or celui-ci étant, d'après la définition du mouvement uniforme, la vitesse même du point d'application de l'effort censé constant, on voit que le travail mécanique pendant l'unité de tems, se trouve réellement mesuré par le produit d'un effort et d'une vitesse. C'est comme nous le verrons un peu plus loin, ce qui fait confondre quelquefois le travail mécanique avec ce qu'on nomme la quantité de mouvement, quoique leurs mesures soient dans le fond très différentes.

De même que l'unité de temps est totalement arbitraire, de même aussi l'unité d'effort ou de poids, et l'unité de distance peuvent être choisies à volonté et par suite l'unité de travail ou l'unité d'effort exercé le long de l'unité de chemin. Néanmoins nous prendrons le plus communément pour unité d'effort le Kilogramme, et pour unité de distance le mètre; l'unité de travail mécanique ou d'action sera ainsi l'effort du Kilogramme exercé le long d'un chemin de 1 mètre. Supposons, par exemple, un effort constant de 75 Kilog. répété le long d'un chemin de 4 mètres, le produit $4 \times 75 = 300$ Kil. sera le nombre d'unités de travail dont chacune équivaut à l'effort d'un Kilogramme parcourant 1 mètre de distance: ce produit s'exprime ordinairement ainsi qu'il suit: $300^{K\,m}$, et se lit 300 Kilogm élevés à un mètre de hauteur; parceque l'on rapporte volontiers tous les travaux mécaniques à celui qui consiste dans l'élévation verticale des corps pesans l'effet produit ou l'ouvrage fait étant alors la mesure même du travail. Si mainte-

mécanique des forces : par exemple on pourrait dire quelle force est capable de moudre 1, 2, 3. Kilogrammes de bled, c'est même ainsi qu'on en agit quelquefois, et qu'en agissent les meuniers et propriétaires de moulins, pour spécifier la valeur mécanique de leurs moulins ou de leurs cours d'eau. Mais comme un même poids de bled présente des résistances différentes à la mouture, selon sa qualité, le genre de l'outil, de la machine, non seulement les meuniers ne pourraient être compris de tout le monde, mais ils ne pourraient pas même s'entendre entr'eux ; il faut donc une mesure commune et qui ne soit pas susceptible de varier et d'être interprétée diversement ; or telle est celle qui résulte de la considération de l'effort et du chemin décrit dans la direction de cet effort.

Restera ensuite à savoir combien chaque unité de travail ainsi définie : sera capable de moudre de Kilogrammes de bled de scier de mètres carrés de planches &c. et c'est à quoi l'on parviendra par des observations et des expériences bien faites. L'essentiel est surtout qu'il n'y ait rien d'arbitraire dans la manière d'évaluer le travail mécanique.

Dénominations diverses données au travail mécanique.

Les mécaniciens ont donné diverses dénominations au travail mécanique, travail qu'il ne faut pas confondre avec l'ouvrage puisque ce dernier n'en est que l'effet.

Smeaton mécanicien Anglais qui a beaucoup écrit sur les roues hydrauliques, a nommé le travail mécanique *puissance mécanique*, Carnot *moment d'activité*. (principes de l'équilibre et du mouvement) ; Monge et Hachette (traité des machines) l'ont appelé *effet dynamique* ; MM. Coulomb, Navier et plusieurs autres, l'ont appelé *quantité d'action*, et cette dernière expression est assez généralement en faveur :

Il nous arrivera souvent d'en faire usage ; et il faudra se rappeler qu'elle signifie la même chose que *quantité de travail*, *travail mécanique*.

Quelquefois aussi on nomme le travail mécanique *quantité de mouvement* ; mais comme on emploie généralement en mécanique cette expression pour désigner toute autre chose, nous nous en servirons jamais pour désigner le travail. Les mêmes réflexions doivent s'appliquer à la dénomination de *force vive* mise en usage par certains auteurs, l'une et l'autre n'indiquent que les effets du travail mécanique d'une force sur un corps libre mis en mouvement. Nous ferons connaître plus tard le sens qu'on attache le plus ordinairement à ces mots, ainsi quand il sera question, dans un Auteur, de quantité de mouvement ou de force vive, il conviendra de s'assurer s'il s'agit ou non, du travail mécanique tel que nous l'avons défini.

chargée d'un certain poids, et que le moteur soit uniquement employé à trer régulièrement cette lime dans le sens de sa longueur; encore faudrait il tenir compte de la résistance opposée par l'inertie de la matière dans les premiers instans.

5. Leçon

Ce qu'on doit entendre spécialement par le travail mécanique d'une force

En général quand il sera question désormais du *travail mécanique*, on devra entendre le travail qui résulte immédiatement de l'action simple d'une force sur une résistance qui lui est directement opposée, et qu'elle détruit continuellement, en faisant parcourir un certain chemin au point d'action de cette résistance et dans la direction propre: cette force elle même devra être considérée comme un agent simple, produisant un effort, une pression mesurable en poids, et agissant dans une direction unique, ainsi qu'on l'a définie précédemment. Il ne faudra pas confondre, comme on le fait souvent, l'expression de *travail* et de *force* avec celles par lesquelles on désigne vaguement tous les effets, plus ou moins compliqués des agens matériels ou animés qui développent leur action sur des résistances, ainsi nous ne parlerons pas de la force d'un cheval, d'un homme, d'une machine sans indiquer le point d'action de cette force, son intensité, sa direction, nous ne parlerons pas de son travail mécanique sans spécifier les mêmes choses pour l'espèce de résistance qu'elle est censée détruire à chaque instant.

Simplicité de la mesure du travail qui consiste à élever verticalement des fardeaux.

Le travail le plus simple, celui donne immédiatement l'idée de la mesure, est l'élévation des fardeaux suivant la verticale ou *l'aplomb*, pourvu qu'on ne tienne pas compte de l'inertie de la matière propre de ces fardeaux: l'ouvrage fait croît alors visiblement comme le poids et comme la hauteur ou le chemin parcouru dans la direction de la résistance, c'est-à-dire qu'il est mesuré par le produit de ce poids et de cette hauteur; car, pour répéter encore une fois nos raisonnements, en élevant un poids double, triple &c, et en élevant le même poids à une hauteur double, triple &c, c'est bien comme si on l'avait élevé deux, trois fois à la hauteur simple, ou une première fois à cette hauteur, puis une seconde fois ou une troisième fois à cette même hauteur. Si donc on prend pour unité de travail, l'unité de poids élevée à l'unité de hauteur, le travail total sera mesuré par le produit du nombre des unités de poids et de celui des unités de hauteur.

L'utilité de la mesure que nous avons prise pour le travail, résulte de sa simplicité même, et de la facilité qu'on a d'évaluer des efforts, des pressions en poids, et des distances, des chemins en unités de longueur. Du reste on pourrait prendre la quantité même de l'ouvrage fait pour mesure du travail

Nous avons pris pour exemples le travail produit par une force qui traîne un corps le long d'un plan de la part duquel il éprouve une résistance constante, et qui bande un ressort dont la résistance varie à chaque instant; mais nos raisonnements s'appliquent à tous les travaux des arts: un cheval tire-t-il après la barre d'un manège? Un homme élève-t-il de l'eau du fond d'un puits? Un ouvrier est-il employé à scier, à raboter du bois, à limer, à polir un métal, à arrondir un corps sur le tour &c.? la quantité d'ouvrage fait sera toujours mesurée par le produit de l'effort égal et contraire à la résistance de l'outil, de la matière et du chemin décrit par le point d'action de cette résistance si elle est constante, ou par la somme des produits qui mesurent les travaux partiels, si la résistance est variable.

Réflexions et distinctions relatives au travail mécanique des matières.

En cherchant à apprécier ainsi le travail mécanique, il faudra avoir soin de ne pas confondre celui que dépense effectivement le moteur avec celui qui résulte immédiatement de l'ouvrage fait, car on conçoit qu'une partie du premier travail peut être détruite par des résistances autres que celles qui proviennent de l'ouvrage: ce n'est qu'à cette dernière résistance que s'appliquent les considérations précédentes et la mesure du travail, plus tard nous examinerons le mode d'action des forces motrices, les circonstances qui modifient le résultat de cette action, et le déchet que peut éprouver le travail de la force selon les diverses applications.

Complication inhérente à certains travaux industriels.

Pour montrer la complication réellement inhérente à certains travaux industriels nous prendrons pour exemple le travail du limeur: il faut 1° qu'il appuie pour faire mordre ou enfoncer la lime; 2° qu'il supporte continuellement le poids de l'outil, 3° qu'il exerce un effort pour faire glisser la lime le long du corps, 4° qu'il promène cette lime avec une certaine vitesse en avant et en arrière, et que par conséquent il vainque l'inertie de la matière de cette lime. La quantité d'ouvrage fait est le résultat de ces diverses circonstances; mais on fait disparaître toute cette complication en séparant du résultat du travail tout ce qui n'y est pas indispensable, et en ne considérant que ce qui se passe à l'endroit même où la matière du métal est enlevée par la lime: là on n'apperçoit qu'une résistance qui suppose un effort égal et contraire dans la direction même du chemin que décrit le point d'action de la lime, et dont la quantité de travail se mesure ainsi que nous l'avons dit. Le travail du moteur peut même être réduit à n'être que cela, en supposant la lime mise à plat sur une barre de niveau.

---

divisant par 3, on aura 255^{K},67 qui multipliés par 0^{m}.04 produira un résultat, 10^{K},2,268 parcourant un mètre de chemin, par la quantité de travail cherché.

Lors donc que l'on connaîtra par l'expérience, la loi ou la table qui lie la résistance variable aux chemins décrits par son point d'action, toute la question pour trouver le travail mécanique relatif à un chemin quelconque parcouru, consistera à tracer la courbe de cette loi et à calculer, par petites parties, l'aire de la surface qui répond à cette longueur de chemin. Comme les unités de longueur qui ont servi à construire les ordonnées, représentent des unités d'effort ou de poids d'une certaine espèce, et que les abscisses sont elles mêmes composées d'unités de longueur représentant des unités de chemin parcouru, on voit que *l'unité de surface* des rectangles ou de leur somme totale sera réellement *l'unité d'effort* parcourant *l'unité de chemin*.

Valeur de l'effort moyen.

Lorsqu'on a ainsi trouvé la valeur du travail mécanique d'une résistance variable pour une distance quelconque parcourue par son point d'action, en divisant cette valeur par cette distance, on obtiendra ce qu'on nomme *l'effort moyen* de la résistance, ou l'effort constant qui étant répété le long du chemin, produirait la même quantité de travail, car nous avons vu que, pour une résistance constante, le travail se mesure par le produit de cette résistance et du chemin total décrit par son point d'application.

Divers exemples du travail mécanique et principalement de celui qui consiste à bander un ressort.

Quand un moteur est employé à bander un ressort, il développe à chaque instant un effort qui est d'autant plus grand, que son point d'action a décrit plus de chemin dans sa direction propre, effort qu'on peut même mesurer, ainsi que nous l'avons vu, pour chaque position du ressort, ou pour chaque position du point d'action. On pourra donc, d'après la méthode précédente, trouver la courbe qui donne la loi de ces efforts, et calculer approximativement la somme des travaux mécaniques effectués à chaque instant et qui composent le travail total.

égales très petites; on mènera par ces points de division les ordonnées correspondantes. Cela posé, on ajoutera ensemble les ordonnées extrêmes, ou les pressions qu'elles représentent, puis on prendra 4 fois la somme des ordonnées de rang pair, puis 2 fois celles des ordonnées de rang impair, en ne comptant plus les ordonnées extrêmes; ayant enfin ajouté tous ces résultats partiels, on prendra le $\frac{1}{3}$ du total qu'on multipliera par la distance que représente chaque intervalle des ordonnées. Par exemple, si les pressions ou résistances représentées par les 9 ordonnées équidistantes Or, e_1r_1, … e_8r_8 sont 20 Kil, 25 Kil, 29 Kil, 32 K, 34 K, 35 K, 36 K, 36 K, 37 K, et que la distance représentée par les intervalles constants e_1e_2 … soit de 0m,04, on aura la quantité de travail qui répond à la surface $Or e_8 r_8$, en prenant la somme 20K + 37K + 4(25K + 32K + 35K + 36K) + 2(29K + 34K + 36K) = 57K + 512K + 198K = 767K, puis la

exercé sur le terrein ; supposons que la résistance due à ce frottement soit de 37 Kilog 50, et que le chemin décrit dans un certain tems soit de 64^m il est clair que, si l'on prend pour unité de travail celui qui consiste à vaincre la résistance d'un Kilogramme le long d'un mètre de chemin, le travail total sera mesuré par $37^{Kil}50 \times 64 = 2\,400^{Kilog}$. parcourant 1^m. En général on voit que le travail mécanique que nécessite une certaine résistance constante et qui se reproduit le long d'un certain chemin, aura pour mesure le produit de cette résistance par le chemin que décrit son point d'action, l'unité de travail étant toujours l'unité d'effort, mesuré en poids parcourant l'unité de chemin ou de longueur.

Mesure du travail quand la résistance est variable.

Si la résistance, ou l'effort égal et opposé qui la détruit, au lieu d'être la même à chaque instant, variait sans cesse comme cela arrive souvent, le travail ne pourrait plus s'évaluer ainsi qu'on vient de le dire, mais comme pour chacun des espaces très petits décrits par le point d'action, la résistance peut être censée constante, le travail correspondant devra encore se mesurer par le produit de cette résistance et du petit chemin dont il s'agit. Le travail total se composant de la somme des travaux partiels, sera mesuré également par la somme de tous les petits produits qui leur correspondent.

Traçons sur un plan ou tableau, une courbe $r\,r_1\,r_2$ &c. dont les abscisses Oe_1, Oe_2, Oe_3 .... représentent les chemins successivement décrits par le point d'action de la résistance, et dont les ordonnées Or, e_1r_1, e_2r_2, e_3r_3 .... représentent en lignes, les résistances ou efforts correspondants. Supposons que Oe_1, e_1e_2, e_2e_3 .... soient les espaces égaux et très petits décrits à chaque instant. Les travaux partiels ayant pour mesure les produits de ces petits espaces par les résistances correspondantes censées constantes pour chacun d'eux, c'est-à-dire les produits $Oe_1 \times Or$, $e_1e_2 \times e_1r_1$, $e_2e_3 \times e_2r_2$ ..., ces travaux seront représentés par les aires des rectangles Ors_1e_1, $e_1r_1s_2e_2$ ..., et le travail total le sera par la surface de tous ces petits rectangles réunis. On voit que cette surface différera d'autant moins de la surface $Or\,r_8\,e_8\,O$ comprise entre la courbe, l'axe des abscisses et les ordonnées qui répondent au commencement et à la fin du travail, que les ordonnées successives seront elles-mêmes plus rapprochées entr'elles, de sorte que, si l'on multiplie indéfiniment le nombre de ces ordonnées, on pourra prendre la surface $Or\,r_8\,e_8\,O$ pour la mesure véritable du travail effectué pendant que le point d'action de la résistance décrit l'espace Oe_8 (*)

(*) Pour calculer l'aire comprise entre une courbe, deux de ses ordonnées quelconques et l'axe des abscisses, on partagera sur cet axe, l'intervalle des deux ordonnées en un nombre pair de parties

dévaincre pour le besoin des arts, des résistances telle que la force d'adhésion des molécules des Corps, la force des ressorts, celle de la pesanteur, l'inertie de la matière &a. User, polir un Corps par le frottement, le diviser en parties, élever des fardeaux, traîner une voiture le long d'un chemin, bander un ressort, lancer des pierres, des boulets &a. c'est travailler, c'est vaincre continuellement des résistances sans cesse renouvelées.

Le travail mécanique ne suppose pas seulement une résistance vaincue, mais une résistance reproduite le long d'un chemin parcouru par le point où s'exerce cette résistance et dans sa propre direction. Pour enlever une parcelle de matière d'un corps avec un outil, par exemple, non seulement il faut un effort directement opposé à la résistance présentée par cette parcelle, mais encore il faut faire avancer le point d'action de l'outil dans la direction de la résistance. Plus cet avancement sera grand, plus la parcelle enlevée aura de longueur; d'un autre côté, plus sera grande la largeur ou l'épaisseur de cette parcelle, plus la résistance ou l'effort sera considérable. L'ouvrage fait à chaque instant croît donc avec l'intensité de l'effort et la longueur du chemin décrit dans sa direction. Un raisonnement analogue est applicable à tous les travaux industriels.

Mesure du travail quand la résistance est constante.

Supposons que la résistance soit constante ainsi que l'effort qui lui est égal et directement opposé, c'est-à-dire qu'elle reste la même à chaque instant, il est clair que l'ouvrage produit ou le travail sera proportionnel au chemin, (double si le chemin est double, triple si le chemin est triple &a); de sorte que, si l'on prend pour unité le travail qui consiste à vaincre la résistance le long d'un chemin de 1 mètre, le travail total sera mesuré par le nombre de mètres et de fractions de mètre parcourus. Mais si, pour un autre travail, la résistance constante est double, triple &a de ce qu'elle était dans le premier, à chemin égal décrit par le point d'action de cette résistance, le travail sera double, triple &a. de ce qu'il était. Si, par exemple, la résistance était de 1 Kilogramme dans le premier cas, et qu'elle fut de 2. 3. 4 Kilogrammes dans le second, le travail pour chaque mètre de distance serait 2, 3, 4 fois celui d'un Kilogr. En prenant donc pour unité de travail celui qui consiste à vaincre la résistance de 1 Kilog. le long de 1 mètre, on voit qu'un travail quelconque dont l'objet est de vaincre une résistance qui reste constante ou la même, sera mesuré par le nombre de Kil. qui exprime cette résistance répété autant de fois qu'il y a de mètres et de fractions de mètre: dans le chemin parcouru par le point d'action de cette résistance, c'est-à-dire par le *produit* de ces deux nombres. Supposons un moteur employé à traîner un corps sur un plan horizontal, le travail devra vaincre le frottement constant

si le mouvement est constamment uniforme, ces résistances proviennent simplem du terrain, de divers frottements, &c. Si la vitesse augmente à chaque instant, l'in mise en action s'ajoute aux résistances précédentes, et le cheval fait équilibre à fois à toutes ces forces, au contraire, si la vitesse vient à diminuer, l'inertie qui te à faire persévérer la voiture dans son état de mouvement, ajoutera son action à celle du cheval pour détruire toutes les autres résistances ou les maintenir en équilibre.

Résultantes et composantes.

Quand il y a équilibre entre plusieurs forces O, P, Q, l'une quelconque d'e tr'elles O ou CO, peut être considérée comme détruisant l'effet de toutes les autres. S donc l'on conçoit une force R ou CR; égale et directement opposée au même poin d'application C, comme elle détruira à elle seule celle O dont il s'agit, elle produi le même effet sur le corps que les forces P, Q prises ensemble, c'est pour cette raison qu'on la nomme résultante des forces P, Q et ces forces elles mêmes les composantes de R.

Réciproquement, si à la résultante R de plusieurs forces P, Q.. on oppose un force O égale et contraire, il y aura équilibre entre cette force et toutes celles là P, Q....

Équilibre et résultante des forces agissant sur la même droite.

Lorsque plusieurs forces agissent suivant la même droite et dans le mêm sens, leur effet équivaut évidemment à celui d'une force unique égale à leur somme et qui en est la résultante; une force égale et contraire détruirait toutes celles là ou les maintiendrait en équilibre. Si plusieurs forces agissent suivant la même droite, mais dans des sens opposés, leur résultante sera une force unique égale à l'excès de la somme des forces qui agissent dans un sens sur celle des forces qui agissent dans l'autre, et elle agira dans le sens de la plus grande somme, car lorsque deux forces sont opposées directement la plus petite détruit, dans la plus grande, une portion égale à elle même. Trois hommes tirant dans le même sens une corde avec des forces de 10, 17, 25 Kilogrammes, (total 52 Kilogrammes,) et deux autres tirant cette corde, en sens contraire; avec des forces de 12 et de 19 Kilogrammes (total 31 Kilogrammes), la corde sera réellement sollicitée comme elle le serait avec une force unique de 52 moin 31 ou 21 Kilogrammes agissant dans le sens des premiers hommes.

Définition et examen du travail mécanique des forces.

Le cas le plus simple de l'équilibre, est celui où deux forces égales et contraires se détruisent mutuellement, c'est à cela que se réduit l'emploi des forces motrices dans les travaux industriels. Travailler c'est vaincre ou

(à gauche ou à droite, en avant ou en arrière du point d'application); 4°. son intensité absolue mesurable en poids, en Kilogrammes.

Représentation des forces par le dessin.

Soit A le point d'application d'une force, la droite AB indéfinie; portons de A en P, dans le sens de son action, un nombre d'unités de longueur (millimètres, centimètres &c.) égal au nombre de Kilogrammes qui exprime l'intensité de la force; il est évident que cette force sera complètement représentée. Ordinairement on exprime le sens de l'action au moyen d'une flèche et l'intensité de la force par une lettre telle que P, afin d'abréger. Ainsi on dit une force P ou AP, une force Q ou BQ, comme on dirait une force de 10 Kilogrammes, de 15 Kilogrammes &c. de cette manière l'étude de la mécanique est ramenée à celle de certaines figures de géométrie.

Définition de l'équilibre des forces.

Si des forces appliquées à un corps quelconque, se balancent ou se détruisent réciproquement de façon qu'elles laissent le corps dans le même état qu'avant leur application, c'est-à-dire si elles le laissent en repos, lorsqu'il est en repos, ou si elles ne modifient ni la direction ni l'intensité de sa vitesse lorsqu'il est en mouvement, on dit qu'il y a équilibre entre ces forces. L'équilibre est *statique* dans le premier de ces cas, et *dynamique* dans le second. Deux hommes tirant avec la même force aux extrémités d'une corde, il y a équilibre statique s'ils sont en repos, et dynamique si l'un entraîne l'autre dans son mouvement. Dans la réalité, il n'y a point d'équilibre statique absolu, puisque la terre entraîne tous les corps dans son mouvement, comme un bateau emporte avec lui tous les corps qui y sont placés &c. Au reste la distinction serait inutile, si la notion ordinairement admise pour l'équilibre, n'entraînait l'idée du repos qui n'y est point indispensable.

Influence de l'inertie sur l'état d'équilibre.

Lorsqu'un corps soumis à l'action de plusieurs forces extérieures conserve un mouvement uniforme malgré ces forces, ces dernières se font nécessairement équilibre d'après les définitions ci-dessus: quand la vitesse augmente ou diminue, l'équilibre n'a plus lieu en ces forces, mais si l'on a égard à la force d'inertie des diverses molécules matérielles, et qu'on introduise parmi les premières forces une force extérieure égale à celle-là et capable d'empêcher la modification survenue dans le mouvement, il y aura encore équilibre entre toutes ces forces d'après les définitions ci-dessus. Un cheval qui tire une voiture le long d'une route, détruit à chaque instant toutes résistances qui s'opposent à son action:

cette propriété qu'il est permis de supposer que l'action d'une force s'opère en un point quelconque de sa direction.

Les corps peuvent être regardés comme rigides dans la plupart des circonstances.

Les corps étant plus ou moins compressibles ou extensibles, la ficelle ou la barre interposée ci-dessus entre la puissance et la résistance s'étend ou se comprime jusqu'à un certain degré relatif à l'énergie de ces forces; mais tant que la puissance et la résistance resteront les mêmes, la ficelle ou la barre ne changera plus de longueur; c'est d'après cette considération que nous pourrons regarder la plupart des corps résistants, employés dans les arts pour transmettre l'action des forces comme parfaitement rigides et inextensibles, d'autant plus qu'on les choisit presque toujours de façon qu'ils fléchissent en réalité très peu sous l'action de ces forces.

L'inertie de la matière peut se mesurer au moyen des forces.

Nous venons de voir que lorsqu'une force extérieure agit sur un corps libre pour lui imprimer du mouvement ou pour détruire celui qu'il possède, ce corps réagit ou oppose une résistance égale à la force: c'est cette résistance qui mesure l'inertie de la matière du corps. Il est évident que, pour un même corps, la résistance augmente avec le degré de vitesse imprimée ou détruite; nous verrons plus tard qu'elle est proportionnelle à cette vitesse et qu'elle augmente aussi avec la quantité de matière renfermée dans chaque corps. Si vous tirez un corps libre avec une ficelle, cette ficelle s'étend, s'allonge et peut même se rompre quand elle est tirée brusquement, et cela d'autant plus que le corps est plus massif ou pesant. Si vous suspendez un corps à l'extrémité d'une ficelle verticale et que vous placiez un peson à ressort dans la ligne de *traction* ou *tirage*, le ressort indiquera le poids du corps dans le cas du repos, mais si l'on soulève le corps avec une certaine vitesse, le ressort se pliera davantage par suite de la résistance opposée par l'inertie matière. Le mouvement une fois acquis et devenant régulier, uniforme, le ressort reprend et conserve constamment l'état de tension qu'il avait dans le cas du repos, attendu que la vitesse n'est plus alors altérée. Si, au contraire, la vitesse vient à diminuer, le ressort se détend, et indique une pression moindre que le poids du corps. Les oscillations du ressort peuvent donc servir à mesurer les variations du mouvement et l'énergie de la force d'inertie qui agit contre ou avec la puissance, selon que la vitesse accélère ou diminue.

Choses à distinguer dans les forces.

Il faut distinguer dans une force 1° son *point d'application*, c'est-à-dire le point où elle agit immédiatement; 2° sa *direction indéfinie* ou la droite que décrirait le point d'application, s'il obéissait librement à la force; 3° le *sens* de son

4.me Leçon. Mode d'action des forces. Equilibre — Travail — Mécanique.

Manière dont les forces extérieures aux corps exercent leur action.

Quand une force agit extérieurement à un corps et contre un point de sa surface, elle exerce une pression qui refoule les molécules les plus près de ce point ; le corps *plie*, *fléchit*, *se comprime*, *se déprime* ; les molécules se trouvant plus rapprochées au contact, font effort pour retourner à leur place, en vertu de l'élasticité plus ou moins grande qui appartient à toutes les substances, elles refoulent aussi les molécules les plus éloignées jusqu'à l'autre extrémité du corps. Si cette extrémité est fixe ou arrêtée par un obstacle, le résultat sera une compression, une déformation dans toute l'étendue du corps. Si au contraire cette extrémité est libre, elle s'avancera, de sorte que le mouvement sera propagé ou communiqué à toutes les parties du corps, et cela de proche en proche : ce mouvement intestin, résultat d'une suite de compressions, prouve qu'il faut un certain temps pour que la force ait produit son effet total, et l'absurdité de supposer que la vitesse finie puisse s'engendrer instantanément. Les mêmes choses se passeront si, à l'inverse, la force est employée à détruire le mouvement acquis d'un corps ; elle détruira d'abord la vitesse des molécules, les plus près au point d'action, puis de proche en proche, celles des molécules les plus éloignées &a.

La réaction est égale et contraire à l'action.

Comme les ressorts moléculaires ne peuvent être comprimés sur eux-mêmes sans réagir en sens contraire et avec le même effort, *l'agent* qui presse le corps sera repoussé de la même manière qu'il pousse : ce qu'on exprime en disant que *la réaction est égale et contraire à l'action*. En pressant du doigt un corps, en tirant un corps avec une ficelle, ou en le poussant avec une barre, nous sommes pressés, tirés ou poussés, en sens contraire, avec le même effort. — Deux pesons à ressort, placés aux extrémités d'une ficelle ou d'une barre, indiquent le le même degré de tension) quand une force vient agir par l'intermédiaire de la ficelle ou de la barre.

Une force peut être censée appliquée en un point quelconque de sa direction.

Dans tous les cas, l'action de la force ne se transmet *intacte* au point de la résistance que par une suite d'actions ou de réactions égales et contraires, qui se détruisent réciproquement et que les ressorts moléculaires exercent en chaque point de la droite sur laquelle agissent cette force et cette résistance. C'est en vertu de

kilogramme que désormais nous comparerons toutes les forces de pression, de traction, de compression, &c.

Moyens directs de mesurer les forces.

Les poids se mesurent et se comparent entr'eux au moyen d'instruments qu'on nomme balances et dont nous parlerons plus tard. D'après la définition ci-dessus des forces égales, il est facile de trouver le poids d'un corps, quelles que soient la justesse et la composition d'un tel instrument. Il suffit de s'assurer que ce corps substitué, dans les mêmes circonstances à un certain nombre de poids étalons, produit le même effet sur la balance, pour affirmer que le poids du corps est égal à celui des étalons. Sous ce rapport tous les appareils quelconques peuvent être employés à mesurer le poids des corps, et par suite les forces.

Les ressorts entr'autres, en supposant qu'ils conservent long-tems leur élasticité peuvent servir et servent en effet à cet usage dans la pratique. Tels sont le ressort nommé *peson* que tout le monde connait, le dynamomètre de Regnier sur lequel nous reviendrons plus tard, et dont la grandeur de flexion indiquée par une aiguille sur un limbe divisé, sert à donner les poids. En se servant des balances à ressort, il faudra vérifier préalablement l'exactitude de leurs divisions avec des poids étalons, et changer la valeur de cette graduation si l'élasticité se trouvait altérée depuis l'instant de la fabrication.

Remarque sur la pesanteur.

On sait que l'action de la pesanteur diminue à mesure qu'on s'élève au dessus de la surface de la terre. Par conséquent le même corps qui, à la surface de la terre, faisait par son poids fléchir le ressort jusqu'à un certain degré, le fera fléchir un peu moins lorsqu'on le pesera au haut d'une montagne. Ainsi son poids *absolu* ou la force qui soutiendrait le corps pendu à un fil aurait diminué. Mais cette diminution, même pour la hauteur d'une lieue, ne surpasse guères $\frac{1}{750}$ du poids total. L'expérience apprend aussi que l'action de la pesanteur diminue à mesure qu'on s'approche de l'équateur; mais pour un pays comme la France cette diminution est à peine sensible. Enfin on sait que les directions du fil à plomb ne sont point rigoureusement parallèles d'un lieu à un autre, puisqu'elles convergent au centre de la terre, à l'extrémité de rayons d'environ 1500 lieues. Ces directions, pour une distance de 200^m ne forment pas un angle de 6" ½, inappréciable pour nos instruments ordinaires. Il suit de là, que nous pourrons considérer la pesanteur comme une force tout-à-fait constante, et invariable de direction dans l'étendue ordinaire de nos travaux industriels

le tems, en un mot, il faut un tems fini pour qu'une force imprime le mouvement à un corps. La balle d'un fusil traverse un carreau une porte une feuille de papier librement suspendue avec une rapidité telle que les parties enlevées n'ont pas le tems de propager leur mouvement dans toute l'étendue de ces corps. Un canon en équilibre à l'extrémité d'une corde verticale porte le boulet au même but que s'il était sur son affût, ce qui prouve que la pièce n'avait point dévié d'une manière appréciable avant l'instant où le boulet est sorti de la pièce, bien qu'ensuite elle ait pris un mouvement de recul très sensible. Nous examinerons dans la leçon suivante comment le mouvement se propage de proche en proche dans toute l'étendue des corps d'une manière continue.

Les forces qui donnent le mouvement aux corps sont dites *forces motrices*: elles sont *accélératrices* quand elles accélèrent à chaque instant le mouvement, elles sont *retardatrices* quand elles le retardent.

Nature des forces et leur mesure.

Nous avons par nous mêmes une idée exacte du mode d'agir de la force. — Quand nous poussons ou tirons un corps, qu'il soit libre, ou qu'il ne soit pas, nous éprouvons une sensation qui se nomme *pression*, *traction*, ou en général *Effort*. Cet effort est absolument analogue à celui que nous exerçons en soutenant un poids. Ainsi les forces sont pour nous de véritables pressions. La pression peut être plus forte ou plus faible: c'est donc une *grandeur*. Il ne s'agit que de l'exprimer en nombre, en prenant une pression quelconque pour *unité*, ce qui n'est pas difficile si nous pouvons trouver des pressions égales, comme nous avons trouvé des tems égaux.

Deux forces sont égales quand, substituées l'une à l'autre et dans les mêmes circonstances, elles produisent le même effet ou en détruisent un même troisième qui leur est opposée.

Suspendons un corps à l'extrémité d'un fil, en vertu de la pesanteur, ce fil prendra la direction de l'aplomb et il faudra un effort pour le soutenir: si deux forces appliquées successivement à ce fil et de la même manière, maintiennent en repos, ces forces seront nécessairement égales entr'elles et au poids du corps: une force double triple, supportera deux, trois corps semblables au premier pendus les uns au dessous des autres avec le même fil, prenant l'une de ces forces par exemple, celle qui supporte un centimètre cube d'eau distillée, dont le poids s'appelle *gramme*, pour unité, une force quelconque sera exprimée par le nombre qui indique combien de grammes elle pourra supporter. On sait que 1,000 grammes font 1 *Kilogramme*, lequel équivaut à 2 livres du nouveau système adopté légalement en france. — C'est au

de la décrire a b: car arrivé en b, il n'y a pas de raison pour qu'il se dirige au-dessus ou au-dessous de a b, à moins qu'une cause ne le force dévier de sa route. Pareillement s'il y a une certaine vitesse de a en b.

Il conservera cette vitesse si une cause étrangère ne vient ralentir ou accélérer son mouvement ou sa vitesse: si nous voyons la bille lancée sur un billard ralentir sans cesse sa vitesse, cela tient à la résistance du tapis et de l'air: si nous voyons un corps lancé verticalement de haut en bas, accélérer son mouvement, cela tient à l'action de la pesanteur qui agit continuellement sur ce corps comme s'il était au repos, c'est tellement vrai qu'en diminuant les obstacles qui s'opposent au mouvement de la bille, elle y persévère plus long-tems, et qu'en lançant un corps de bas en haut sa vitesse diminue au lieu d'augmenter. Enfin si la direction du mouvement d'une bombe ou d'une pierre lancée obliquement, change à chaque instant, c'est encore parceque la pesanteur tend sans cesse à ramener cette bombe ou cette pierre vers la terre.

Il résulte de là qu'en vertu de l'inertie, un corps qui se meut actuellement avec une certaine vitesse et dans une certaine direction, conserverait éternellement cette direction et cette vitesse, et que le mouvement serait entièrement rectiligne et uniforme, si rien ne venait à le déranger, qu'enfin, si par une cause quelconque, le corps est forcé de décrire une ligne courbe, cette même inertie (la cause venant tout à coup à cesser, à un certain instant) lui ferait décrire la tangente au point correspondant de la courbe et conserver la vitesse qu'il possédait en ce point.

Forces.

On appelle forces les causes qui modifient l'état actuel d'un corps ou qui le modifieraient si d'autres forces ne venaient détruire l'effet des premières. La pesanteur, la résistance de l'air, le calorique sont des forces puisqu'elles peuvent changer l'état des corps. Un corps posé sur une table ou suspendu à un fil se mouvrait par l'action de la pesanteur, si la table ou le point de suspension ne détruisait continuellement l'effet de cette pesanteur.

Divers effets des forces.

Les forces produisent des effets très variés: tantôt elles laissent les corps en repos, en se détruisant les unes les autres, tantôt elles changent la forme, elles les rompent; tantôt elles leur impriment du mouvement, elles accélèrent ou retardent celui qu'ils possèdent, ou en changent la direction, tantôt enfin ces changements s'opèrent avec lenteur ou brusquement, mais dans le fait, c'est toujours dans un tems fini et par degrés continus. Si nous voyons quelquefois des corps changer brusquement d'état, de direction ou d'intensité de mouvement, c'est que la force, alors très grande, produit son effet dans un tems dont la durée est seulement inappréciable à nos moyens de mesurer

tems Ot_3 pris pour unité.

Dans le mouvement varié les espaces n'étant plus proportionnels aux tems, lorsque $e_1 e_2 e_3$ n'est plus droite, les petits espaces $e_1 b_2$, $e_3 b_3$ .... décrits dans les tems élémentaires $t_1 t_2$, $t_2 t_3$ .. .. sont inégaux; par conséquent la vitesse varie à chaque instant. Pour le cas de la figure, le mouvement, ou la vitesse, est accéléré; parce que les espaces $e_1 b_2$, $e_3 b_3$. sont en croissant. Supposons qu'à l'instant qui répond au point e_3 le mouvement cesse d'être accéléré, et se continue uniformément avec la vitesse qui a lieu en cet instant, le reste du mouvement au lieu d'être représenté par une courbe le sera par une droite indéfinie $e_3 m$ prolongement de $e_3 e_4$, et puisqu'à l'instant qu'on considère, le mobile parcourait l'espace $e_4 b_4$ dans le tems élémentaire $e_3 b_4$ ou $t_3 t_4$, on voit qu'en vertu du mouvement uniforme il parcourra dans l'unité de tems un espace qu'on obtiendra en cherchant l'ordonnée $m\,n$ qui pour la droite $e_3 m$ correspond à l'unité de tems $e_3 n$: cet espace d'après ce que nous avons vu, n'est autre chose que la vitesse à l'instant que l'on considère. Or si nous supposons que l'élément de tems $t_3 t_4$ est assez petit pour que la droite $e_3 e_4$ puisse être censée confondue avec la courbe la droite indéfinie $e_3 m$ deviendra précisément la tangente en e_3 à cette courbe; cette tangente se construira géométriquement ou par le tâtonnement, et son inclinaison sur la parallèle $e_3 n$ à l'axe des abscisses donnera comme nous venons de le dire, la vitesse ou le chemin $m\,n$ qui serait décrit dans l'unité de tems $e_3 n$, si le mouvement devenait tout à coup uniforme. On voit par là que si l'on connaissait pour chaque instant infiniment petit $t_3 t_4 = e_3 b_4$ l'espace correspondant $e_4 b_4$, on aurait la vitesse dont il s'agit au moyen de la proportion $e_4 b_4 : e_3 b_4 :: m\,n : e_3 n$ ou 1 : d'où l'on tire $m\,n$ ou la vitesse $= \frac{e_4 b_4}{e_3 b_4} = \frac{e_4 b_4}{t_3 t_4}$.

Enfin on voit que le mouvement *périodique* tel qu'il a été défini ci-dessus sera représenté par une courbe $E E_1 E_2 E_3$ sinueuse dont les ondulations se font régulièrement autour d'une droite $e_1 e_2 e_3$ qui en représente le mouvement uniforme moyen.

Il est sans doute inutile de remarquer que les courbes précédentes donnent la loi qui lie les espaces aux temps et ne doivent pas être confondues avec les lignes ou chemins mêmes parcourus par les mobiles. Dans ces dernières les tangentes donnent simplement la direction du mouvement ou de la vitesse pour chaque instant, et d'après ce qui précède, sur le petit espace décrit sur la courbe du mobile. Cet instant qui étant divisé par le tems élémentaire employé à le décrire, donne pour quotient ce que nous avons nommé la vitesse.

Inertie.

La matière est inanimée ou inerte; elle ne peut se donner du mouvement par elle-même, ni changer celui qu'elle a reçu. Un Corps en repos y persévère, à moins qu'une cause telle que la pesanteur, un moteur animé ne l'en fasse sortir. S'il a été mis en mouvement et dans une certaine direction $a\,b$, il continuera à se mouvoir de b en c sur le prolongement

et dont néanmoins le mouvement, tantôt accéléré, tantôt retardé, varie à chaque instant. De semblables mouvements sont dits *périodiques*, et on les remplace, pour la simplicité par des mouvements entièrement uniformes qui s'accompliraient dans le même tems. La vitesse constante qui résulte de cette considération, est une *vitesse moyenne*. Il ne faut pas la confondre avec la vitesse effective qui est variable à chaque instant.

Représentation des divers mouvements par la géométrie ou le dessin.

Supposons que nous ayons une table à deux colonnes qui pour un certain mouvement donne les espaces ou chemins décrits au bout de chaque tems écoulé; prenons une certaine longueur (1 millimètre, 1 centimètre &a.), pour représenter l'unité de tems (la seconde par exemple) et une autre longueur (1 centimètre, 1 décimètre &a pour représenter l'unité de chemin (le mètre). Cela posé, traçons une droite indéfinie **OB**, et portons sur cette droite, à partir d'un même point **O**, une distance Ot_4 représentant l'un des tems indiqués à la table; sur la perpendiculaire en t_4 à la droite **OB** portons le tems Ot_4, faisons de même pour les autres tems et les autres chemins, on obtiendra une suite de points $e_1\, e_2\, e_3$ ..... qui réunis deux à deux par des droites vont donner le polygone $e_1\, e_2\, e_3$ ..... ce polygone finira par se confondre avec une courbe invariable si l'on multiplie convenablement les points ou si l'on prend dans la table des temps suffisamment rapprochés les uns des autres. Ot_1, Ot_2 ... sont les abscisses de la courbe, **O** est l'origine de ces abscisses et **OB** l'axe. t_1e_1 t_2e_2 ..... sont les *ordonnées*. Il est clair qu'au moyen du tracé de la courbe on pourra obtenir comme par la table le chemin décrit pour chaque tems donné, en sorte que cette courbe en tiendra lieu pour représenter la loi, la relation entre les tems et les chemins, quelque soit le mouvement.

Dans le mouvement uniforme les espaces croissent comme les tems; ainsi les ordonnées e_1t_1, e_2t_2 ..... y sont proportionnellement aux abscisses Ot_1 Ot_2 ... et partant tels que $e_1\, e_2\, e_3$. qui donne la loi du mouvement est une ligne droite. (Voyez les leçons de géométrie). Supposons qu'on partage l'axe **OB** des abscisses ou des tems, en un grand nombre de parties égales très petites, puis, qu'on ait élevé les ordonnées correspondantes, et qu'enfin on ait mené par l'extrémité de chaque ordonnée des parallèles à l'axe des abscisses, on formera une suite de petits triangles égaux et rectangles (par exemple $e_3\, e_4\, b_4$) semblables aux triangles Ot_1e_1. Ot_4e_4 .... et dont les côtés seront proportionnels à ceux de ces derniers. Observant donc que les hauteurs e_4b_4.... de ces petits triangles mesurent les espaces décrits pendant les tems élémentaires e_3b_4 ou t_3t_4, on pourra répéter au moyen de la figure tout ce qui a été dit ci-dessus sur les propriétés du mouvement uniforme.. Ainsi la vitesse ou l'espace décrit dans chacun des instants égaux t_1t_2, t_2t_3 .... est constante, et peut être donnée par l'espace quelconque e_3e_3 par exemple qui serait décrit dans un certain

celui du mouvement retardé. Dans le premier, le corps part avec un mouvement nul, dans le second son mouvement finit par s'éteindre.

Notions sur la vitesse.

Dans tous ces cas, la rapidité ou la lenteur du mouvement est indiqué, pour chacun des instants égaux très petits, par la longueur plus ou moins grande de l'espace ou du chemin décrit pendant cet instant : cette longueur mesure l'intensité de la *vitesse* à ce même instant. Ainsi la vitesse est *constante* dans le mouvement uniforme, elle est *accélérée* ou *retardée* dans le mouvement accéléré ou retardé.

Mouvement uniforme.

Dans ce mouvement, le plus simple de tous, les petits espaces décrits dans les instants successifs étant égaux, il est clair que le chemin décrit dans un tems quelconque, se composera d'autant de parties égales d'espace qu'il y a de parties égales dans ce tems. Ainsi dans le mouvement uniforme, des *espaces égaux* sont décrits dans des *tems égaux* quelle que soit leur petitesse ou leur grandeur ; les espaces *croissent* comme les tems, dans le rapport des tems, ou sont *proportionnels* aux tems employés à les décrire. Enfin le rapport de chaque espace au tems employé à le décrire reste constant. Toutes ces expressions reviennent au même d'après les propriétés connues des proportions. E étant l'espace quelconque décrit pendant le tems T, e celui qui est décrit pendant t, on a d'après ce qui précède, $E : e :: T : t$ ou $E : T :: e : t$ ou $\frac{E}{T} = \frac{e}{t}$ (rapport constant).

Mesure de la vitesse uniforme.

Puisque dans le mouvement uniforme les espaces sont proportionnels aux tems employés à les décrire, la vitesse peut être indiquée par l'espace décrit durant un tems quelconque, par exemple, *l'unité de tems*. Ainsi, on dira, la vitesse est de 2^m par seconde, ou de 60 fois 2^m ou 120^m par minute, ou de $\frac{2^m}{10} = 0^m,2$ par dixième de seconde &c. Cela revient au même, puisqu'ici le rapport de l'espace au tems ne change pas. Quand on sait qu'un mobile a décrit uniformément un certain espace dans un certain nombre d'unités de tems, de secondes par exemple, on trouve la vitesse, c'est-à-dire, le chemin dans l'unité de tems, en partageant l'espace en autant de parties égales qu'il y a d'unités de tems ou en <u>divisant</u> l'espace par le tems. *Exemple*. L'espace décrit uniformément pendant $1'\,5''$ ou $65''$ étant de 260^m, la vitesse ou l'espace décrit pendant $1''$ est de $\frac{260}{65}$ ou 4^m. Réciproquement si l'on <u>multiplie</u> la vitesse par le nombre d'unités, le produit donnera l'espace décrit pendant ce tems.

Mouvement périodique régulier.

Il arrive quelque fois dans la pratique que la vitesse n'est pas tout à fait constante ou la même à chaque instant, quoique les espaces décrits au bout de certains tems égaux soient égaux. Tels sont en particulier tous les mouvements de *va et vient* (alternatifs) dont les diverses périodes s'exécutent régulièrement dans le même tems, bien que la vitesse varie continuellement dans chaque intervalle. Tel est le mouvement d'une voiture, d'un piéton qui décrivent constamment le même chemin dans chaque heure, chaque quart d'heure

Ainsi nous pouvons compter le nombre d'heures, minutes, secondes &ᵃ écoulées entre deux instants quelconques avec autant de précision et de facilité que nous comptons le nombre de mètres, décimètres &ᵃ contenus dans une distance. Nous pouvons même représenter les tems par des lignes en portant sur une droite et à partir d'un même point, autant de distances égales qu'il y a d'unités de tems dans chacun d'eux. (Voyez ci-contre l'exemple d'une échelle dont les parties égales représenteraient des secondes.

1 2 3 4 5 6 7 8 9
A.

Repos. Un corps est en *repos*, quand il reste au même lieu de l'espace; il n'est peut-être aucun corps qui soit absolument en repos; notre terre étant sans cesse en mouvement autour du soleil, rien n'y possède un repos absolu. Le repos n'est donc que *relatif*; un corps est en repos pour nous quand il conserve la même position par rapport à ceux que nous regardons comme fixes. Un corps qui reste à la même place dans un bateau est en repos, par rapport à ce bateau, quoiqu'il soit réellement en mouvement par rapport aux rives.

Mouvement. Un corps est en *mouvement* quand il occupe successivement diverses positions dans l'espace; le mouvement n'est que relatif comme le repos. Un corps est en mouvement pour nous quand il change de place par rapport à ceux que nous considérons comme fixes.

Le mouvement est essentiellement *continu*, c'est-à-dire qu'un corps ne peut arriver d'une position à une autre sans avoir passé par une série de positions intermédiaires. Ainsi le mouvement d'un point décrit une ligne nécessairement continue. Quand on parle du chemin décrit par un corps on entend essentiellement celui d'un certain point lié à ce corps et dont la position indique celle du corps. Par exemple, pour une boule sphérique ce sera le centre &ᵃ.

Diverses espèces de mouvements. Le mouvement d'un point est dit *rectiligne* ou *curviligne* selon que le chemin décrit est une *droite* ou une *courbe*. Quand le mouvement est curviligne on peut le considérer comme ayant lieu sur un polygône rectiligne dont les côtés très petits se confondraient sensiblement avec la *courbe*. Les côtés successivement décrits et prolongés indéfiniment, qui sont réellement des tangentes à la courbe indiquent les *directions* correspondantes du mouvement.

Concevons que le tems total employé par un point à parvenir d'une position à une autre, soit divisé en un certain nombre de parties égales très petites (par exemple, en centièmes de secondes). Cela posé, si les portions de chemin successivement décrites dans ces diverses parties du tems, sont égales entr'elles, le mouvement sera *régulier uniforme*. S'il en est autrement, le mouvement sera *varié*. Il sera *accéléré* si les petits chemins décrits sont de plus en plus grands, *retardé* si au contraire ces chemins sont de plus en plus courts. L'aiguille des secondes d'une horloge, le cours régulier des eaux, &ᵃ, offrent l'exemple de mouvements uniformes, parce que des espaces égaux sont décrits à chaque instant dans des tems égaux. Un corps qui tombe verticalement offre l'exemple du mouvement accéléré; un corps qui s'élève aussi verticalement.

Résultats d'expériences de 0° à 100 (centigrades), une barre d'acier de 1 mètre de longueur s'allonge de 0,m 00124. De fer, de 0,m 00122. De cuivre rouge, de 0,m 00171. De cuivre jaune, de 0,m 00188. L'allongement est à peu près constant d'un degré à l'autre.

Altérations sur les pièces des machines. On vient de voir combien de causes peuvent faire varier l'état ou la forme des corps et qu'il n'en est point que l'on puisse regarder comme parfaitement solides ou rigides. Mais on peut négliger leur influence dans la plupart des machines qui ne sont pas très délicates. Les chocs seuls produisent des changements de forme dont il faut constamment tenir compte; et sur lesquels nous reviendrons plus tard.

3.e Leçon. Notions sur l'espace, le tems, le mouvement, la vitesse & la force.

Espace. *L'espace* est l'étendue indéfinie, sans bornes, qui contient tous les corps.

Tems. On conçoit un *Tems* plus long ou plus court qu'un tems donné; le tems est donc une grandeur comme celle des lignes, des aires &c.

Mesure du tems. Pour mesurer un tems quelconque, il ne s'agit que d'obtenir des tems égaux, et qui se succèdent sans discontinuité. Pour tomber d'une certaine hauteur sur un plan de niveau, un même corps emploie toujours le même tems, il en est de même pour des corps égaux tombant de la même hauteur. Supposez qu'aussitôt que le corps est arrivé sur le plan, un autre corps égal soit lâché du même point et successivement un 3.e &c., vous aurez une suite de tems égaux et leur somme sera le tems total. En représentant par 1 l'un des tems élémentaires, vous pourrez exprimer un tems quelconque par un nombre; en y joignant le nom du tems élémentaire vous aurez l'expression complette du tems.

Instrumens pour mesurer le tems. La *Clepsydre* des anciens donne un moyen plus commode d'obtenir des tems égaux ou d'égale durée. Les pendules, horloges et les montres aujourd'hui en usage sont des instruments plus précis encore.

Division du tems. La fraction la plus petite du tems que donnent les pendules et les montres ordinaires est la *Seconde*. 60 secondes ou 60" font une *minute* ou 1'; 60' font une heure ou 1h; 24h font 1 jour; enfin l'année complette ou temps entre deux retours successifs du Soleil à la même position, est de 365 j. - 6h - 48' - 48" - ou 31,556,928". M.r Breguet est parvenu à faire des montres qui ne varient pas d'une demi seconde dans une année; certaines montres appelées *Chronomètres* donnent jusqu'aux 1/10 de seconde

de verre communiquant entr'elles par un tube horizontal dont le milieu est occupé par une goutte d'esprit de vin coloré. La chaleur de la main suffit pour dilater l'air de la boule dont on l'approche, ce qui refoule la bulle d'esprit de vin dans l'autre boule. En éloignant la main, le volume d'air diminue et la bulle revient à sa place primitive.

L'eau, les liquides sont aussi dilatables par la chaleur. C'est ce que démontre le thermomètre, instrument connu de tout le monde. On gradue l'échelle du thermomètre en observant la hauteur du liquide qu'il renferme, quand on plonge l'instrument dans l'eau bouillante et dans la glace fondante, deux degrés de chaleur qui sont constants et faciles à reproduire; l'espace compris entre ces deux positions extrêmes du liquide est divisé en 100 parties dont chacune marque les degrés intermédiaires. Certains thermomètres sont divisés en 80 parties égales. C'est celui de Reaumur. Le premier se nomme Centigrade.

Les corps solides se dilatent beaucoup moins que les liquides et les gaz. Leur dilatation est cependant rendue sensible en augmentant suffisamment l'une de leurs dimensions. Une barre de métal ajustée d'abord entre deux talons, n'y peut plus entrer quand on l'a chauffée.

Dans ces phénomènes le *Calorique* ou la chaleur se comporte à l'égard des corps, comme les liquides qui en pénètrent les pores et les font gonfler. Quand on frappe violemment du fer, la chaleur devient perceptible sur la partie choquée. En comprimant l'air dans un briquet pneumatique, on en soutire assez de chaleur, pour y enflammer de l'amadou.

La propriété qu'ont tous les corps de changer de volume apparent par les diverses causes ci-dessus, prouve évidemment que leurs molécules sont séparées entr'elles par des intervalles plus ou moins grands. Elles se comportent comme si elles étaient maintenues et séparées par de petits ressorts qui résisteraient à la *pression* aussi bien qu'à la *traction*. On suppose que le calorique est la cause de la répulsion, et l'attraction celle qui s'oppose à la séparation.

La propriété qu'ont en particulier les métaux de changer de volume par la chaleur et par la traction ou la compression a été mise à profit dans les arts. C'est ainsi que Mr. Molard est parvenu à mettre dans leur aplomb les murs du Conservatoire des arts et métiers de Paris, que l'on a consolidé la Coupole de St. Pierre de Rome d'un cercle de fer. C'est ainsi qu'on unit les jantes d'une roue de voiture, et qu'on *scelle* une foule de corps &a.

En se rappellant la dilatabilité des métaux, on évitera une foule de fautes dans les constructions. On laissera la liberté convenable aux barres scellées à leurs extrémités.

Les corps solides perdent leur élasticité quand la pression est trop prolongée ou quand elle est souvent répétée, comme quand elle est trop forte. Un ressort chargé d'un poids finit par ne plus se débander au bout d'un temps plus ou moins long, selon sa force. La gomme élastique ou *Caoutchouc* le plus élastique des corps solides, se déforme sous une forte pression ou par la chaleur.

Quand les corps élastiques ont la forme de cubes ou de sphères leur élasticité, moins apparente que quand ils sont en lames, n'en existe pas moins. Une boule d'ivoire enduite d'huile, tombant d'une certaine hauteur sur une table de marbre, y laisse une tache plus ou moins large qui prouve qu'elle s'est applatie; elle rejaillit ensuite en s'élevant plus ou moins haut par l'effet du débandement de son ressort. Une boule d'ivoire est plus élastique qu'une boule de plomb parce qu'elle rejaillit à une plus grande hauteur et qu'elle reprend sa première forme, ce que ne fait pas cette dernière. Une bande d'acier circulaire comprimée dans un sens et abandonnée ensuite à elle-même s'élargit bientôt en sens contraire et fait une suite d'oscillations autour de sa forme primitive. Il en est de même de la bille d'ivoire et de tous les corps élastiques qui ont été choqués. Ces oscillations plus ou moins sensibles se nomment *vibrations*.

Les corps solides pouvant perdre leur élasticité, il importe de ne point les soumettre à des tractions ou des tensions qui dépassent certaines limites. — L'expérience apprend que sous un effort de 6 Kilog. par millimètre carré de section transversale, une barre de fer commence à perdre son élasticité, et qu'elle se pare ou se rompt sous une pression d'environ 35 Kil. Il en est de même de tous les corps, ils perdent leur élasticité sous un effort égal au 1/5 ou au 1/6 environ de celui qui occasionne leur rupture. Ainsi le fer, la fonte, le bois qui se rompent sous des efforts de 35, de 13 de 9 Kilog. par millimètre carré perdent leur élasticité sous des efforts d'environ 6 Kilog. 2 1/2 Kil. Par exemple, un barreau de fer d'un centimètre de côté (10 millimètres) ayant 100 millimètres carrés de section, supportera 600 Kilog. avant de perdre son élasticité quoiqu'il ne se rompe réellement que sous un effort 5 à 6 fois plus grand.

Dilatibilité.

La *dilatibilité* est la propriété qu'ont les corps d'augmenter de volume quand on les chauffe, d'en diminuer quand on les refroidit, de le reprendre quand on les ramène au même degré de chaleur.

Les gaz sont de tous les corps ceux qui se dilatent le plus, leur volume se dilate de 0,00375 par chaque degré de température centigrade. On mesure la dilatibilité de l'air au moyen du Thermoscope de Rumfort. Cet instrument consiste dans deux boules



est réduit à moitié par la pression, le ressort de l'air intérieur contre le piston sera 2 Kilog &c. Les volumes des gaz sont donc réciproquement proportionnels à leur force de ressort. Cette loi découverte par Mariotte sert de base à l'estimation de la force de la vapeur qui se comporte à peu près comme les autres gaz. Les autres corps sont aussi extensibles, mais beaucoup moins que l'air : un fil attaché à un point fixe et supportant des poids, s'allonge à mesure qu'ils sont plus considérables, et finit par se rompre dès qu'ils ont été augmentés suffisamment.

Elasticité.

L'élasticité est la propriété que possèdent les corps de reprendre leur état primitif, quand une cause quelconque les en a fait changer. Un ressort d'acier plié revient quand on l'abandonne, exactement à sa première forme. Les ressorts sont d'une grande utilité dans les arts ; ils servent à suspendre les voitures, à faire mouvoir les montres, à restituer, dans les chocs, les pertes d'action qui en résultent ; c'est par leur ressort que le foin, les découpures de papier, prémunissent les marchandises emballées contre l'effet des secousses.

On distingue l'élasticité de *forme* et l'élasticité de *volume*. Le ressort qui change de forme et non de volume est un exemple de la première. La deuxième est manifeste dans l'air dont le volume apparent diminue par la compression et redevient dès qu'elle cesse.

L'élasticité de volume des liquides est parfaite. L'eau qui se divise quand on la comprime librement n'a point sensiblement d'élasticité de forme. Si on la fait diminuer de volume dans un espace clos et suffisamment résistant et qu'ensuite on l'abandonne à elle-même, elle reprend exactement son volume primitif, et jouit ainsi à un très haut degré de l'élasticité de volume.

Les gaz et l'air sont parfaitement élastiques, et reviennent tout-à-fait à leur premier état, quelle que soit la pression à laquelle ils aient été soumis.

Les corps solides ne se composent pas de la même manière ; il y a une limite de pression au delà de laquelle ils sont plus ou moins déformés. Un ressort est brisé quand on le plie au delà d'un certain terme. Ils sont d'autant plus élastiques qu'ils peuvent revenir d'une déformation plus grande. Une lame d'acier est plus élastique qu'une lame de verre, et une lame de verre est plus élastique qu'une lame de plomb. Sous une faible pression la lame de plomb reprend exactement sa figure primitive, et dans ce sens on pourrait dire qu'elle est parfaitement élastique. Il en est de même de toutes les substances. Ainsi en réalité, l'élasticité n'est qu'une propriété relative.

Tissus. Les tissus des arts ou naturels tels que les étoffes, l'éponge, les bois, le cuir, qui sont très poreux sont aussi les plus compressibles des corps solides. Cette propriété sert à en extraire les liquides qu'ils contiennent. Les étoffes, le papier sorti fraîchement de la cuve de fabrication, la betterave réduite en pulpes abandonnent, sous l'action de la presse les liquides renfermés dans leurs pores.

Pierres. On sait que les pierres empilées dans les colonnes et les murailles de nos édifices s'affaissent, se tassent, se compriment, se brisent même sous la charge. Accident du Panthéon à Paris. Deux tables de marbre entre lesquelles on place une carte à jouer, fléchissent et ne se touchent que par leurs bords. Un mécanicien Allemand est parvenu à construire un instrument qui rend sensible la flexibilité d'un mur sous la pression du doigt.

Métaux. Quand on frappe la monnoie, le volume du métal est réduit; il s'écrouit, il se moule comme le fer à la cire.

Liquides. Ils sont en général beaucoup moins compressibles que les corps solides. L'eau renfermée dans un canon de bronze de 3^{cm} d'épaisseur et comprimée fortement fait éclater la pièce avant que son volume ait diminué de $\frac{1}{20}$. Cette diminution de volume est de $\frac{48}{1{,}000{,}000}$ pour une pression atmosphérique ou pour chaque pression de 1.^{Kil}033 par centimètre carré de surface. Il faut 1033 Kil. de pression sur chaque centimètre pour que la pièce éclate.

Gaz. Ils sont les plus compressibles de tous les corps. De l'air refoulé au moyen d'un piston, dans un tube fermé par une extrémité (Briquet pneumatique), est réduit, par le seul effort de la main au $\frac{1}{10}$ ou au $\frac{1}{20}$ de son volume primitif. Ce volume diminue en augmentant l'effort de la pression, mais ne peut se réduire à rien à cause de l'impénétrabilité des molécules de l'air ou des gaz; il y a donc une limite à la compression. Quand la compression du piston cesse, l'air le repousse et reprend son volume primitif; de là le nom de *fluide élastique* donné à tous les gaz. Si le tube du briquet pneumatique est indéfiniment prolongé au dessus du piston, et qu'on élève ce dernier; l'air occupera au dessous de lui un volume 10 fois, 100 fois, 1000 fois plus grand que son volume primitif; il n'y a donc point de limite à l'expansion de l'air et des gaz. — Supposons que la pression exercée sous le piston par l'air soit de 1 Kil., quand il occupe un certain volume; si ce volume

La différence du volume apparent au volume réel est le volume des pores. Ainsi plus le volume apparent diminue, plus il se rapproche du volume réel. Exemple : l'éponge qu'on peut comprimer jusqu'à $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$ de son volume primitif.

La densité d'un corps est son poids sous l'unité de volume apparent ; l'or est plus dense que le fer, parce qu'un pied cube ou un mètre cube d'or pèse plus qu'un pied cube ou un mètre cube de fer. La densité de l'eau est à peu près de 70 livres pour un pied cube, et de 1,000 Kil pour un mètre cube.

La *pesanteur spécifique* ou mieux *le poids spécifique* d'une substance est sa densité comparée à celle de l'eau. Ainsi la densité de l'eau étant 1, celle de l'or est d'environ 19, c'est-à-dire, qu'un pied cube ou un mètre cube d'or pèse 19 fois autant qu'un pied cube ou un mètre cube d'eau.

La porosité est évidente dans une foule de corps qui se laissent pénétrer par l'eau. Tous les tissus les étoffes, les cuirs, les bois, sont dans ce cas. C'est sur cette propriété qu'est fondé l'emploi des filtres. Les bois gonflent par l'humidité, et se retirent par la sécheresse ainsi qu'on le voit dans les planchers, portes, lambris &c. C'est en insérant des coins de bois bien sec, dans une rainure pratiquée autour des blocs à extraire pour les meules, et en les humectant ensuite qu'on parvient à détacher ces blocs des massifs qui les renferment. Les cordes mouillées augmentent en diamètre et diminuent en longueur : de là un moyen puissant employé par les anciens pour soulever d'énormes fardeaux.

Certaines pierres servent de filtres comme les tissus. Toutes augmentent de poids quand on les expose à l'humidité. On sait que sorties fraichement des carrières elles sont humides, ce qui facilite leur taille. Les rochers de la nature laissent filtrer l'eau qui forme les stalactites suspendues aux voûtes des grottes.

Les métaux mêmes sont sensiblement poreux et se laissent pénétrer par l'eau. C'est ce que prouve l'expérience faite à Florence sur une boule d'Or remplie d'eau et soumise à une forte pression ; expérience répétée depuis pour d'autres métaux.

2e Leçon. Suite des propriétés physiques.

Compressibilité.

La *compressibilité* des corps est la propriété qu'ils ont tous d'être réduits quand on les comprime, à un moindre volume apparent.

peut être aminé à un tel degré de finesse que son diamètre est seulement de $\frac{1}{1200}$ d'un millimètre et que 3,000 pieds ne pèsent qu'un grain. Il faudrait 150 de ces fils pour former un faisceau de la grosseur d'un seul brin de soie.

La nature nous présente la division de la matière poussée plus loin encore. Le Mica sorte de pierre se décompose en lames dont il faudrait plus de 23,000 pour former l'épaisseur d'un millimètre. Les bulles de savon que soufflent les enfans ont une épaisseur beaucoup moindre encore. Les animaux infusoires qu'on aperçoit au microscope dans une gouttelette d'eau ou de vinaigre et qui paraissent doués des mêmes qualités physiques que les autres animaux sont encore des exemples d'une divisibilité encore plus reculée.

L'imagination peut aller audelà encore, mais s'ensuit-il que les parties des corps soient divisibles indéfiniment? les phénomènes de la chimie semblent prouver le contraire.

Dans la multitude des combinaisons et transformations possibles des corps la matière sort intacte et avec toute ses qualités primitives quand on l'a isolée.

La combustion de l'hydrogène qui produit et résultat de l'eau, et la décomposition de cette dernière reproduisant la même quantité d'hydrogène en sont un exemple frappant.

Les dernières parties de la matière qui ne sont altérables par aucun des moyens connus se nomment *atômes molécules*.

Si les atômes n'étaient point liés entr'eux par des causes quelconques, les corps dont ils se composent ressembleraient à des monceaux de poussière, et comme il sera prouvé tout à l'heure que ces atômes sont écartés entr'eux il faut bien qu'ils soient soumis à l'action de forces les unes attractives et les autres *répulsives* qui se balancent. Ces forces s'appellent *forces moléculaires*, *forces atomistiques*.

Porosité

On nomme *pores* les intervalles compris entre les atômes, les particules et les divers groupes de particules qui composent les corps. Les premiers sont tout à fait imperceptibles, quant aux autres on peut souvent s'assurer de leur existence. L'éponge offre un exemple de pores de diverses grandeurs

L'espace occupé par la matière propre d'un corps est ce qu'on nomme son *volume réel*.

L'espace limité, par l'enveloppe extérieure d'un corps est son *volume apparent*.

de la chaleur, on conçoit que cette propriété est générale. Mais il est d'autres moyens de prouver la divisibilité des corps solides, et ces moyens constituent l'objet principal de la plupart des arts industriels.

On divise les pierres, les bois, les métaux &c par le choc ou par le frottement, à l'aide de marteaux, pilons, meules, molettes, coins, ciseaux, scies, rapes, limes, rabots, &c.

On sépare les parties les plus fines des plus grossières avec les tamis, les bluteries &c. On atteint encore mieux le but en employant la *décantation*, la *ventilation* ou la *sublimation* (vaporisation) dans certains cas.

La décantation consiste à verser dans l'eau les matières déjà pulvérisées, à les agiter, à laisser reposer le mélange pendant un temps plus ou moins long selon l'état de division qu'on veut obtenir, puis à transvaser l'eau pour la laisser déposer de nouveau et ainsi de suite. Il est des parties tellement fines qu'elles emploient 2 ou 3 jours pour se précipiter.

La ventilation remplit le même but. L'air mis en mouvement par un soufflet, van ou ventilateur entraine les parties d'autant plus loin qu'elles sont plus fines. C'est ainsi qu'on divise quelquefois le charbon et le souffre dans les poudreries, et que dans nos campagnes on sépare le grain de son enveloppe.

La sublimation consiste à vaporiser les corps au moyen de la chaleur, dans des vases fermés, et à condenser les vapeurs par le refroidissement. C'est ainsi qu'on prépare la fleur de souffre et le mercure ou vif argent.

Ces opérations donnent déjà une idée de la grande divisibilité de la matière, en voici encore plusieurs exemples. Quand on observe un cône lumineux produit par les rayons du soleil qui traversent l'ouverture d'une chambre obscure ; on aperçoit une infinité de particules de matière en mouvement, invisibles dans l'état ordinaire. 5 centigrammes ou un grain de carmin dissous dans 15 Kil d'eau colorent toute cette masse, et le nombre total des parties colorantes, en supposant 2 de ces parties seulement par centigramme cube est de 3 millions. Le fil doré du brodeur qui se fait avec des cylindres d'argent plaqués de feuilles d'or très minces et passés à la filière pèse $\frac{1}{30}$ d'once pour 202 pieds de longueur : ce même fil aplati entre deux cylindres acquiert une longueur de 270 pieds une largeur de $\frac{1}{8}$ de ligne et une épaisseur de $\frac{1}{250}$ de ligne. La lame d'or qui le recouvre est ainsi réduite tout calcul fait, à $\frac{1}{60,000}$ de ligne d'épaisseur. Un fil de platine recouvert d'argent étiré à la filière, et remis ensuite à nu en dissolvant l'argent dans l'eau forte

Cours de Mécanique industrielle professé par Mr. Poncelet.

1re Leçon. Notions préliminaires.

Propriétés physiques des Corps

Etats principaux des corps.

Les corps se présentent sous trois états principaux.

Corps *solides*. les pierres, les métaux, les bois, &c.

Corps *liquides* l'eau, le vin, le mercure ou vif argent &c.

Corps *Gazeux ou aériformes*: l'air, les fumées diverses et tous les corps analogues nommés *Gaz et vapeurs*.

L'existence de l'air, des gaz et des vapeurs quelconques est prouvée par toutes sortes de faits. Exemple: le mètre cube d'air pèse 1 Kil,30 (un Kilog. trois dixièmes). Une vessie remplie d'air résiste à la pression comme les corps solides ordinaires. Un verre renversé étant plongé dans l'eau, l'air qu'il renferme ne cède point sa place au liquide; les vents les ouragans qui ne sont que de l'air en mouvement, renversent des arbres, des maisons, &c. comme les torrents d'eau.

Les liquides, les gaz, les vapeurs se nomment *fluides*, d'un mot latin qui veut dire couler.

Certains corps solides sont *durs, cassants, fragiles*. Le verre, l'acier &c. D'autres sont *mous, ductiles*. Le beurre, l'argile ou terre glaise, le plomb, le fer (à chaud). On dit aussi des métaux ductiles qu'ils sont *malléables*.

Certains fluides sont *visqueux* ou ont de la *viscosité*. L'huile, la mélasse &c filent en coulant dans l'air au lieu de se diviser comme; ils coulent plus difficilement.

Tous les corps connus peuvent prendre successivement l'état solide, liquide et gazeux. L'eau est solide en hiver (glace, neige); liquide dans son état ordinaire; aériforme ou à l'état de vapeur visible ou invisible quand on la chauffe, quand on l'expire par la bouche.

Divisibilité.

La divisibilité des corps est de toute évidence pour les fluides, liquides ou gazeux; et comme tous les corps peuvent être amenés à l'état de fluides au moyen

RÉSUMÉ

des Leçons du

Cours de Mécanique Industrielle

Professé par

M.r PONCELET.

Rédigé par M.r le Capitaine du Génie

GOSSELIN ;

1827 — 1828.

Lith.ie de Clouet, Rue Jacob, 11 à Paris.